

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF RECEIPT OF
RECORD COPY

(PCT Rule 24.2(a))

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

EHARA, Syogo
 Ehara Patent Office
 Osaka Shoko Building
 15-26, Edabori 1-chome
 Nishi-ku, Osaka-shi
 Osaka 550-0002
 JAPON

Date of mailing (day/month/year) 13 September 1999 (13.09.99)	IMPORTANT NOTIFICATION
Applicant's or agent's file reference FP99-026	International application No. PCT/JP99/04539

The applicant is hereby notified that the International Bureau has received the record copy of the international application as detailed below.

Name(s) of the applicant(s) and State(s) for which they are applicants:

SUNCALL CORPORATION (for all designated States except US)
 ISHIDA, Masaaki et al (for US)

International filing date : 23 August 1999 (23.08.99)
 Priority date(s) claimed : 19 February 1999 (19.02.99)
 07 May 1999 (07.05.99)

Date of receipt of the record copy by the International Bureau : 03 September 1999 (03.09.99)

List of designated Offices :

National : DE, GB, KR, US

ATTENTION

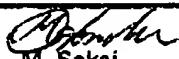
The applicant should carefully check the date appearing in this Notification. In case of any discrepancy between these data and the indications in the international application, the applicant should immediately inform the International Bureau.

In addition, the applicant's attention is drawn to the information contained in the Annex, relating to:

- time limits for entry into the national phase
- confirmation of precautionary designations
- requirements regarding priority documents

A copy of this Notification is being sent to the receiving Office and to the International Searching Authority.

RECEIVED
 EHARA PATENT OFFICE
 DATE JAN 27 2000

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland	Authorized officer:  M. Sakai
Faximile No. (41-22) 740.14.35	Telephone No. (41-22) 338.83.38

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION CONCERNING
SUBMISSION OR TRANSMITTAL
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

EHARA, Syogo
 Ehara Patent Office
 Osaka Shoko Building
 15-26, Edobori 1-chome
 Nishi-ku, Osaka-shi
 Osaka 550-0002
 JAPON

Date of mailing (day/month/year) 19 January 2000 (19.01.00)	To: EHARA, Syogo Ehara Patent Office Osaka Shoko Building 15-26, Edobori 1-chome Nishi-ku, Osaka-shi Osaka 550-0002 JAPON		
Applicant's or agent's file reference FP99-Q26	IMPORTANT NOTIFICATION		
International application No. PCT/JP99/04539	International filing date (day/month/year) 23 August 1999 (23.08.99)		
International publication date (day/month/year) Not yet published	Priority date (day/month/year) 19 February 1999 (19.02.99)		
Applicant SUNCALL CORPORATION et al			
<p>1. The applicant is hereby notified of the date of receipt (except where the letters "NR" appear in the right-hand column) by the International Bureau of the priority document(s) relating to the earlier application(s) indicated below. Unless otherwise indicated by an asterisk appearing next to a date of receipt, or by the letters "NR", in the right-hand column, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).</p> <p>2. This updates and replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents.</p> <p>3. An asterisk(*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b). In such a case, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.</p> <p>4. The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which was not received by the International Bureau or which the applicant did not request the receiving Office to prepare and transmit to the International Bureau, as provided by Rule 17.1(a) or (b), respectively. In such a case, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(d) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.</p>			
<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
19 Febr 1999 (19.02.99) 07 May 1999 (07.05.99)	11/41865 11/127628	JP JP	29 Octo 1999 (29.10.99) 29 Octo 1999 (29.10.99)
RECEIVED EHARA PATENT OFFICE DATE FEB 1 2000			

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No. (41-22) 740.14.35	Authorized officer F. Zotomayor Telephone No. (41-22) 338.83.38
--	---

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT

世界知的所有権機関
国際事務局

特許協力条約に基づいて公開された国際出願



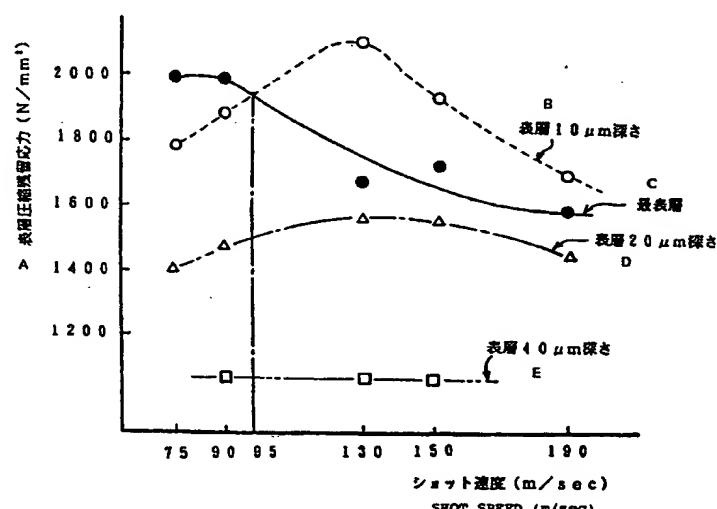
(51) 国際特許分類6 C21D 7/06, B24C 1/10	A1	(11) 国際公開番号 WO00/49186						
		(43) 国際公開日 2000年8月24日(24.08.00)						
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/04539</p> <p>(22) 国際出願日 1999年8月23日(23.08.99)</p> <p>(30) 優先権データ</p> <table> <tr> <td>特願平11/41865</td> <td>1999年2月19日(19.02.99)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>特願平11/127628</td> <td>1999年5月7日(07.05.99)</td> <td>JP</td> </tr> </table> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) サンコール株式会社(SUNCALL CORPORATION)[JP/JP] 〒615-8555 京都府京都市右京区梅津西浦町14番地 Kyoto, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および</p> <p>(75) 発明者／出願人 (米国についてのみ) 石田雅昭(ISSHIDA, Masaaki)[JP/JP] 宇津巻和宏(UZUMAKI, Kazuhiro)[JP/JP] 磯野裕司(ISONO, Yuji)[JP/JP] 寺床圭一郎(TERATOKO, Keiichiro)[JP/JP] 山田凱郎(YAMADA, Yoshiro)[JP/JP] 鈴木 博(SUZUKI, Hiroshi)[JP/JP] 笹田弘暢(SASADA, Hironobu)[JP/JP] 〒615-8555 京都府京都市右京区梅津西浦町14番地 サンコール株式会社内 Kyoto, (JP)</p> <p style="text-align: center;"><i>F/H/E ✓</i></p>		特願平11/41865	1999年2月19日(19.02.99)	JP	特願平11/127628	1999年5月7日(07.05.99)	JP	(74) 代理人 弁理士 江原省吾, 外(EHARA, Syogo et al.) 〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 大阪商工ビル 江原特許事務所 Osaka, (JP)
特願平11/41865	1999年2月19日(19.02.99)	JP						
特願平11/127628	1999年5月7日(07.05.99)	JP						
		(81) 指定国 DE, GB, JP, KR, US						
		添付公開書類 国際調査報告書						

(54) Title: SPRING OF EXCELLENT FATIGUE RESISTING CHARACTERISTICS AND SURFACE TREATMENT METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

(54) 発明の名称 耐疲労特性に優れたばねとこのばねを製造するための表面処理方法

(57) Abstract

A surface treatment method for manufacturing springs of excellent fatigue resisting characteristics, comprising: projecting hard metal particles 500-900 μ in particle diameter which are softer than a nitrided outermost layer of a spring, and which have a hardness Hv of 500-800, onto an outer surface of the nitrided spring at 40-90 m/sec with the occurrence of fine cracks in an outer layer thereof being prevented, whereby residual compressive stress due to the projection operation is applied up to a comparatively deep inner portion of the spring; and projecting onto the surface of the same spring a large number of fine metal particles having an average particle diameter of not smaller than 10 μ and larger than 100 μ , a spherical shape or a shape near a spherical shape with no angular portions, a specific gravity of 7.0-9.0, and a hardness Hv which is not lower than 600 and not higher than 1100 and which is not higher than the hardness of the outermost layer of the nitrided spring, at 50-190 m/sec while being controlled to a temperature which causes work hardening to occur in the outer layer of the spring but which is lower than a level at which the softening of the outer layer due to the recovery recrystallization thereof occurs, whereby a high residual compressive stress is applied to a portion very close to the outer surface of the spring without causing fine cracks to occur in the outer layer thereof, this enabling a valve spring of a high fatigue strength to be obtained.



- A ... RESIDUAL COMPRESSIVE STRESS (N/mm²) APPLIED TO
OUTER LAYER
 B ... 表層 10 μm 深さ 10 μm DEEP PORTION OF OUTER LAYER
 C ... OUTERMOST LAYER
 D ... 表層 20 μm 深さ 20 μm DEEP PORTION OF OUTER LAYER
 E ... 表層 40 μm 深さ 40 μm DEEP PORTION OF OUTER LAYER

THIS PAGE BLANK (USPTO)

特許協力条約

PCT



国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)
〔PCT18条、PCT規則43、44〕

出願人又は代理人 の書類記号 FP99-026	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。			
国際出願番号 PCT/JP99/04539	国際出願日 (日.月.年)	23.08.99	優先日 (日.月.年)	19.02.99
出願人(氏名又は名称) サンコール株式会社				

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 2 ページである。

この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。
 この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

この国際出願に含まれる書面による配列表

この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記録した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は 出願人が出したものを承認する。

次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は 出願人が出したものを承認する。

第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1ヶ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 1 図とする。 出願人が示したとおりである。

なし

出願人は図を示さなかった。

本図は発明の特徴を一層よく表している。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int C16 C21D7/06 B24C1/10

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int C16 C21D7/06 B24C1/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-1999年

日本国登録実用新案公報 1994-1999年

日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP9-279229, A (サンコール株式会社), 28, 10月, 1997 (28, 10, 9 7) 、特許請求の範囲, &KR97-69245, A&US5816088, A	1-13
A	JP5-339628, A (ヤマハ発動機株式会社), 21, 12月, 1993 (21, 12, 93) 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-13
A	JP9-57629, A (東芝タンガロイ株式会社), 4, 3月, 1997 (04, 03, 9 7) 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-13
A	JP5-140726, A (新日本製鐵株式会社), 8, 6月, 1993 (08, 06, 9 3) 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-13

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 12. 99

国際調査報告の発送日

21.12.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小川 武

印 4K 9270

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

THIS PAGE BLANK (USPTO)

特許協力条約に基づく国際出願
願書

出願人は、この国際出願が特許協力条約に従って
処理されることを請求する。

受理官庁記入欄

国際出願番号

国際出願日

(登付印)

出願人又は代理人の審査記号

F P 99-026

第I欄 発明の名称

耐疲労特性に優れたばねとこのばねを製造するための表面処理方法

第II欄 出願人

氏名(名称)及びあて名:

サンコール株式会社 SUNCALL CORPORATION

この欄に記載した者は、
発明者である。

電話番号:

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555
Japan

ファクシミリ番号:

加入電信番号:

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である:
 すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 追記欄に記載したすべての指定国

第III欄 その他の出願人又は発明者

氏名(名称)及びあて名:

石田 雅昭 ISHIDA Masaaki

この欄に記載した者は次に該当する:

出願人のみである。

出願人及び発明者である。

発明者のみである。

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

サンコール株式会社内 c/o SUNCALL CORPORATION,

14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555

Japan

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である:
 すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 追記欄に記載したすべての指定国

その他の出願人又は発明者が複数に記載されている。

第IV欄 代理人又は共通の代表者、通知のあて名

次に記載された者は、国際機関において出願人のために行動する。

代理人

共通の代表者

氏名(名称)及びあて名:

6458 弁理士 江原 省吾 EHARA Syogo

電話番号:
06-6443-9541

〒550-0002 日本国大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 大阪商工ビル

江原特許事務所

ファクシミリ番号:
06-6443-9544

EHARA PATENT OFFICE, Osaka Shoko Building, 15-26, Edobori 1-chome,

Nishi-ku, Osaka-shi, Osaka 550-0002 Japan

加入電信番号:

代理人又は共通の代表者が選任されておらず、上記枠内に特に通知が送付されるあて名を記載している場合はレ印を付す

THIS PAGE BLANK (USPTO)

第III欄の続き その他の出願人又は発明者

氏名(名称)及びあて名
宇津巻 和宏 UZUMAKI Kazuhiro

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

サンコール株式会社内 c/o SUNCALL CORPORATION,
14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555
Japan

この欄に記載した者は次に該当する:

出願人のみである。

出願人及び発明者である。

発明者のみである。

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 追記欄に記載したすべての指定国

氏名(名称)及びあて名

磯野 裕司 ISONO Yuji

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

サンコール株式会社内 c/o SUNCALL CORPORATION,
14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555
Japan

この欄に記載した者は次に該当する:

出願人のみである。

出願人及び発明者である。

発明者のみである。

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 追記欄に記載したすべての指定国

氏名(名称)及びあて名

寺床 圭一郎 TERATOKO Keiichiro

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

サンコール株式会社内 c/o SUNCALL CORPORATION,
14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555
Japan

この欄に記載した者は次に該当する:

出願人のみである。

出願人及び発明者である。

発明者のみである。

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 追記欄に記載したすべての指定国

氏名(名称)及びあて名

山田 健朗 YAMADA Yoshiro

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

サンコール株式会社内 c/o SUNCALL CORPORATION,
14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555 Japan

この欄に記載した者は次に該当する:

出願人のみである。

出願人及び発明者である。

発明者のみである。

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 追記欄に記載したすべての指定国

その他の出願人又は発明者が宛葉に記載されている。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

第Ⅲ欄の統合 その他の出願人又は発明者

氏名(名称)及びあて名

鈴木 博 SUZUKI Hiroshi

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

サンコール株式会社内 c/o SUNCALL CORPORATION,

14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555 Japan

この欄に記載した者は次に該当する:

 出願人のみである。 出願人及び発明者である。 発明者のみである。

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 連記欄に記載したすべての指定国

氏名(名称)及びあて名

笹田 弘暢 SASADA Hironobu

〒615-8555 日本国京都府京都市右京区梅津西浦町14番地

サンコール株式会社内 c/o SUNCALL CORPORATION,

14, Umezunishiuracho, Ukyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 615-8555 Japan

この欄に記載した者は次に該当する:

 出願人のみである。 出願人及び発明者である。 発明者のみである。

国籍: 日本国 Japan

住所: 日本国 Japan

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 連記欄に記載したすべての指定国

氏名(名称)及びあて名

この欄に記載した者は次に該当する:

 出願人のみである。 出願人及び発明者である。 発明者のみである。

国籍:

住所:

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 連記欄に記載したすべての指定国

氏名(名称)及びあて名

この欄に記載した者は次に該当する:

 出願人のみである。 出願人及び発明者である。 発明者のみである。

国籍:

住所:

この欄に記載した者は、次の指定国についての出願人である: すべての指定国 米国を除くすべての指定国 米国のみ 連記欄に記載したすべての指定国 その他の出願人又は発明者が榜頭に記載されている。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

第V欄 国の指定

規則4.9(a)の規定に基づき次の指定を行う。

広域特許

- AP AR IPO特許 : KE ケニア Kenya, LS ルサトロ Lesotho, MW マラウイ Malawi, SD スーダン Sudan, SZ シジシヤン Swaziland, UG ウガンダ Uganda 及びハラブロトコルと特許協力条約の加盟国である他の国
- EA ユーラシア特許 : AM アルメニア Armenia, AZ アゼルバイジャン Azerbaijan, BY ベラルーシ Belarus, KG キルギス Kyrgyzstan, KZ カザフスタン Kazakhstan, MD モルドバ共和国 Republic of Moldova, RU ロシア連邦 Russian Federation, TJ タジキスタン Tajikistan, TM ルクシスタン Turkmenistan, 及びユーラシア特許条約と特許協力条約の締約国である他の国
- EP ヨーロッパ特許 : AT オーストリア Austria, BE ベルギー Belgium, CH and L I スイス及びリヒテンシュタイン Switzerland and Liechtenstein, DE ドイツ Germany, DK デンマーク Denmark, ES スペイン Spain, FI フィンランド Finland, FR フランス France, GB 英国 United Kingdom, GR ギリシャ Greece, IE アイルランド Ireland, IT イタリア Italy, LU ルクセンブルク Luxembourg, MC モナコ Monaco, NL ナレダ Netherlands, PT ポルトガル Portugal, SE スウェーデン Sweden, 及びヨーロッパ特許条約と特許協力条約の締約国である他の国
- OA OAPI特許 : BF ブルキナファソ Burkina Faso, BJ ベニン Benin, CF 中央アフリカ Central African Republic, CG コートジボワール Côte d'Ivoire, CI 象牙海岸 Côte d'Ivoire, CM カメルーン Cameroon, GA ガボン Gabon, GN ギニア Guinea, ML マリ Mali, MR モーリタニア Mauritania, NE ニジェール Niger, SN セネガル Senegal, TD チャド Chad, TG テゴー Togo, 及びアフリカ知的所有権機関と特許協力条約の締約国である他の国

国内特許

- AL アルバニア Albania
 AM アルメニア Armenia
 AT オーストリア Austria
 AU オーストラリア Australia
 AZ アゼルバイジャン Azerbaijan
 BA ボスニア・ヘルツェゴビナ Bosnia and Herzegovina
 BB バルバドス Barbados
 BG ブルガリア Bulgaria
 BR ブラジル Brazil
 BY ベラルーシ Belarus
 CA 加拿大 Canada
 CH and L I スイス及びリヒテンシュタイン Switzerland and Liechtenstein
 CN 中国 China
 CU キューバ Cuba
 CZ チェコ Czech Republic
 DE ドイツ Germany
 DK デンマーク Denmark
 EE エストニア Estonia
 ES スペイン Spain
 FI フィンランド Finland
 GB 英国 United Kingdom
 GE ジルギシア Georgia
 HU ハンガリー Hungary
 IL イスラエル Israel
 IS アイスランド Iceland
 JP 日本 Japan
 KE ケニア Kenya
 KG キルギス Kyrgyzstan
 KR 韓国 Republic of Korea
 KZ カザフスタン Kazakhstan
 LC セントルシア Saint Lucia
 LK スリランカ Sri Lanka
 LR リベリア Liberia
 LS ルサトロ Lesotho
 LT リトアニア Lithuania
 LU ルクセンブルク Luxembourg

出願人は、上記の指定に加えて、規則4.9(b)の規定に基づき、特許協力条約の下で認められる全ての国の指定を行う。

ただし、

出願人は、これらの追加される指定が確認を条件としていること、並びに優先日から16ヶ月が経過する前に確認されない指定は、この期間の超過時に、出願人によって取下げられたものとみなされることを宣言する。

- LV ラトヴィア Latvia
 MD モルドバ共和国 Republic of Moldova
 MG マダガスカル Madagascar
 MK マケドニア The former Yugoslav Republic of Macedonia
 MN モンゴル Mongolia
 MW マラウイ Malawi
 MX メキシコ Mexico
 NO ノルウェー Norway
 NZ ニュージーランド New Zealand
 PL ポーランド Poland
 PT ポルトガル Portugal
 RO ルーマニア Romania
 RU ロシア連邦 Russian Federation
 SD スーダン Sudan
 SE スウェーデン Sweden
 SG シンガポール Singapore
 SI スロベニア Slovenia
 SK スロ伐キア Slovakia
 TJ タジキスタン Tajikistan
 TM ルクシスタン Turkmenistan
 TR ルーミー Turkey
 TT トリニティ・トバゴ Trinidad and Tobago
 UA ウクライナ Ukraine
 UG ウガンダ Uganda
 US 米国 United States of America

 UZ ウズベキスタン Uzbekistan
 VN ベトナム Vietnam

以下の□は、この様式の施行後に特許協力条約の締約国となった国を指定（国内特許のために）するためのものである

-

の国の指定を除く。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

追記欄

「第IV欄の続き」

9399 弁理士 田 中 秀 佳 TANAKA Hideyoshi
A161 弁理士 白 石 吉 之 SHIRAI SHI Yoshiyuki
A742 弁理士 城 村 邦 彦 SHIROMURA Kunihiko
〒550-0002 日本国大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 大阪商工ビル 江原特許事務所
EHARA PATENT OFFICE, Osaka Shoko Building, 15-26, Edobori 1-chome, Nishi-ku,
Osaka-shi, Osaka 550-0002 Japan

THIS PAGE BLANK (USPTO)

第VI欄 優先権主張		他の優先権の主張（先の出願）が選択欄に記載されている <input type="checkbox"/>	
下記の先の出願に基づき優先権を主張する			
国名	先の出願の日 (日、月、年)	先の出願の号	先の出願がされた官庁名
(1) 日本国 Japan	19. 02. 99	特願平11-41865	
(2) 日本国 Japan	07. 05. 99	特願平11-127628	
(3)			

上記の()の番号の先の出願のうち、次の()の番号のものについては、出願書類の認証原本を作成し国際事務局へ送付することを、受理官庁（日本国特許庁の長官）に対して請求している。;

第VII欄 國際調査機関

國際調査機関 (ISA) の選択

ISA/JP

先の調査

国名

出願日 (日、月、年)

出願番号

第VIII欄 照合欄

この国際出願の用紙の枚数は次のとおりである。		出願時におけるこの国際出願には、以下にチェックした書類が添付されている。	
1. 類書	6 枚	1. <input type="checkbox"/> 別個の記名押印された委任状	5. <input type="checkbox"/> 手数料計算用紙
2. 明細書	34 枚	2. <input type="checkbox"/> 包括委任状の写し	6. <input type="checkbox"/> 納付する手数料に相当する特許印紙を貼付した書面
3. 請求の範囲	6 枚	3. <input type="checkbox"/> 記名押印（署名）の説明書	7. <input type="checkbox"/> 国際事務局の口座への振込みを証明する書面
4. 要約書	1 枚	4. <input type="checkbox"/> 優先権書類	8. <input type="checkbox"/> 寄託した微生物に関する書面
5. 図面	6 枚		9. <input type="checkbox"/> スクレオチド及び／又はアミノ酸配列リスト（フレキシブルディスク）
合計	53 枚		10. <input type="checkbox"/> その他

要約書とともに公表する図として 第 / 図 を提示する（図面がある場合）

第IX欄 提出者の記名押印

江原省吾



受理官庁記入欄

1. 国際出願として提出された書類の実際の受理の日	2. 国面
3. 国際出願として提出された書類を補完する書類又は図面であってその後期間内に提出されたものの実際の受理の日（訂正日）	<input type="checkbox"/> 受理された
4. 特許協力条約第11条(2)に基づく必要な補完の期間内の受理の日	<input type="checkbox"/> 不足図面がある
5. 出願人により特定された ISA/JP	6. <input type="checkbox"/> 調査手数料未払いにつき、国際調査期間に調査用書類を送付していない

国際事務局記入欄

記録原本の受理の日

様式PCT/RO/101 (最終用紙) (1997年1月)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT

世界知的所有権機関
国際事務局

特許協力条約に基づいて公開された国際出願



(31) 国際特許分類6 C21D 7/06, B24C 1/10		A1	(11) 国際公開号 WO00/49186
			(43) 国際公開日 2000年8月24日(24.08.00)
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/04539</p> <p>(22) 国際出願日 1999年8月23日(23.08.99)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/41865 1999年2月19日(19.02.99) JP 特願平11/127628 1999年5月7日(07.05.99) JP</p> <p>(71) 出願人(米国を除くすべての指定国について) サンコール株式会社(SUNCALL CORPORATION)[JP/JP] 〒615-8555 京都府京都市右京区梅津西浦町14番地 Kyoto, (JP)</p> <p>(72) 発明者: および 石田雅昭ISHIDA, Masao)[JP/JP] 宇津巻和宏(UZUMAKI, Kazuhiro)[JP/JP] 磯野裕司(ISONO, Yuji)[JP/JP] 寺床圭一郎(TERATOKO, Keiichiro)[JP/JP] 山田凱郎(YAMADA, Yoshiro)[JP/JP] 鈴木 博(SUZUKI, Hiroshi)[JP/JP] 篠田弘暢(SASADA, Hironobu)[JP/JP] 〒615-8555 京都府京都市右京区梅津西浦町14番地 サンコール株式会社内 Kyoto, (JP)</p>			<p>(74) 代理人 弁理士 江原省吾, 外(EHARA, Syogo et al.) 〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 大阪商工ビル 江原特許事務所 Osaka, (JP)</p> <p>(81) 指定国 DE, GB, JP, KR, US</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p> <p style="text-align: right;">RECEIVED EHARA PATENT OFFICE DATE SEP - 1, 2000</p>
<p>(54) Title: SPRING OF EXCELLENT FATIGUE RESISTING CHARACTERISTICS AND SURFACE TREATMENT METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME</p> <p>(54) 発明の名称 耐疲労特性に優れたばねとこのばねを製造するための表面処理方法</p> <p>(57) Abstract A surface treatment method for manufacturing springs of excellent fatigue resisting characteristics, comprising: projecting hard metal particles 500-900 μ in particle diameter which are softer than a nitrided outermost layer of a spring, and which have a hardness Hv of 500-800, onto an outer surface of the nitrided spring at 40-90 m/sec with the occurrence of fine cracks in an outer layer thereof being prevented, whereby residual compressive stress due to the projection operation is applied up to a comparatively deep inner portion of the spring; and projecting onto the surface of the same spring a large number of fine metal particles having an average particle diameter of not smaller than 10 μ and larger than 100 μ, a spherical shape or a shape near a spherical shape with no angular portions, a specific gravity of 7.0-9.0, and a hardness Hv which is not lower than 600 and not higher than 1100 and which is not higher than the hardness of the outermost layer of the nitrided spring, at 50-190 m/sec while being controlled to a temperature which causes work hardening to occur in the outer layer of the spring but which is lower than a level at which the softening of the outer layer due to the recovery recrystallization thereof occurs, whereby a high residual compressive stress is applied to a portion very close to the outer surface of the spring without causing fine cracks to occur in the outer layer thereof, this enabling a valve spring of a high fatigue strength to be obtained.</p>			
<p>Y-axis: 残留圧縮応力 (N/mm²)</p> <p>X-axis: ショット速度 (m/sec)</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> A ... RESIDUAL COMPRESSIVE STRESS (N/mm²) APPLIED TO OUTER LAYER B ... 10 μ DEEP POSITION OF OUTER LAYER C ... 20 μ DEEP POSITION OF OUTER LAYER D ... 30 μ DEEP POSITION OF OUTER LAYER E ... 40 μ DEEP POSITION OF OUTER LAYER 			

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/04539

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IntCl⁶ C21D7/06 B24C1/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IntCl⁶ C21D7/06 B24C1/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP9-279229,A (Suncall Corporation), 28 October, 1997 (28.10.97), Claims ; & KR, 97-69245,A & US, 5816088,A	1-13
A	JP5-339628,A (Yamaha Motor Co., Ltd.), 21 December, 1993 (21.12.93), Claims (Family: none)	1-13
A	JP9-57629,A (TOSHIBA TUNGALOY CO., LTD.), 4 March, 1997 (04.03.97), Claims (Family: none)	1-13
A	JP5-140726,A (Nippon Steel Corporation), 8 June, 1993 (08.06.93) , Claims (Family: none)	1-13

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

"A"	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier document but published on or after the international filing date	"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"Z"	document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		

Date of the actual completion of the international search
07 December, 1999 (07.12.99)Date of mailing of the international search report
21 December, 1999 (31.12.99)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

PCT

世界知的所有権機関
国際事務局

特許協定条約に基づいて公開された国際出願



(51) 国際特許分類6 C21D 7/06, B24C 1/10		A1	(11) 国際公開番号 WO00/49186
			(43) 国際公開日 2000年8月24日(24.08.00)
(21) 国際出願番号 PCT/JP99/04539 (22) 国際出願日 1999年8月23日(23.08.99) (30) 優先権データ 特願平11/41865 1999年2月19日(19.02.99) JP 特願平11/127628 1999年5月7日(07.05.99) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) サンコール株式会社(SUNCALL CORPORATION)[JP/JP] 〒615-8555 京都府京都市右京区梅津西浦町14番地 Kyoto, (JP)		(74) 代理人 弁理士 江原省吾, 外(EHARA, Syogo et al.) 〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 大阪商工ビル 江原特許事務所 Osaka, (JP) (81) 指定国 DE, GB, JP, KR, US 添付公開書類 國際調査報告書	
(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 石田雅昭(ISSHIDA, Masaaki)[JP/JP] 宇津巻和宏(UZUMAKI, Kazuhiro)[JP/JP] 磯野裕司(ISONO, Yuji)[JP/JP] 寺床圭一郎(TERATOKO, Keiichiro)[JP/JP] 山田凱郎(YAMADA, Yoshiro)[JP/JP] 鈴木 博(SUZUKI, Hiroshi)[JP/JP] 笹田弘暢(SASADA, Hironobu)[JP/JP] 〒615-8555 京都府京都市右京区梅津西浦町14番地 サンコール株式会社内 Kyoto, (JP)			
(54) Title: SPRING OF EXCELLENT FATIGUE RESISTING CHARACTERISTICS AND SURFACE TREATMENT METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME (54) 発明の名称 耐疲労特性に優れたばねとこのばねを製造するための表面処理方法			
<p>(57) Abstract</p> <p>A surface treatment method for manufacturing springs of excellent fatigue resisting characteristics, comprising: projecting hard metal particles 500-900 μ in particle diameter which are softer than a nitrided outermost layer of a spring, and which have a hardness Hv of 500-800, onto an outer surface of the nitrided spring at 40-90 m/sec with the occurrence of fine cracks in an outer layer thereof being prevented, whereby residual compressive stress due to the projection operation is applied up to a comparatively deep inner portion of the spring; and projecting onto the surface of the same spring a large number of fine metal particles having an average particle diameter of not smaller than 10 μ and larger than 100 μ, a spherical shape or a shape near a spherical shape with no angular portions, a specific gravity of 7.0-9.0, and a hardness Hv which is not lower than 600 and not higher than 1100 and which is not higher than the hardness of the outermost layer of the nitrided spring, at 50-190 m/sec while being controlled to a temperature which causes work hardening to occur in the outer layer of the spring but which is lower than a level at which the softening of the outer layer due to the recovery recrystallization thereof occurs, whereby a high residual compressive stress is applied to a portion very close to the outer surface of the spring without causing fine cracks to occur in the outer layer thereof, this enabling a valve spring of a high fatigue strength to be obtained.</p>			
<p>Y-axis: 表面圧縮残留応力 (N/mm^2)</p> <p>X-axis: ショット速度 (m/sec)</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> A ... RESIDUAL COMPRESSIVE STRESS (N/mm^2) APPLIED TO OUTER LAYER B ... 10 μm DEEP PORTION OF OUTER LAYER C ... OUTERMOST LAYER D ... 20 μm DEEP PORTION OF OUTER LAYER E ... 40 μm DEEP PORTION OF OUTER LAYER 			

窒化処理されたばねの表面へ、窒化された最表層硬さよりも軟らかく、かつ、硬さ HV 500 ~ 800、粒径 500 ~ 900 μm の硬質金属粒子を 40 ~ 90 m/sec で表層の微細亀裂発生を防止しつつ投射し、投射による圧縮残留応力を比較的ばねの内部にまで付与する。このばね表面へ、全粒子の平均径が 80 μm 以下、かつ、個々の粒子がそれぞれ平均径 10 μm 以上 100 μm 未満、形状として球形又は球に近い角張った個所のない、比重 7.0 ~ 9.0、硬さ HV 600 以上 1100 以下、かつ、窒化後のはねの最表層硬さと同等以下の硬さを有する多数の微細金属粒子を速度 50 ~ 190 m/sec で、ばね表面層の加工硬化を起こさせるが、回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射し、表層微細亀裂を発生せずにごく表面に高い圧縮残留応力を付与、これによって疲労強度の優れた弁ばね等を得る。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ラトヴィア	SZ スワジ兰
BE ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	TD チャード
BF ブルガリア・ファソ	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴー
BG ブルガリア	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW ギニア・ビサオ	共和国	TT トリニダッド・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	ML マリ	TZ タンザニア
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	MN モンゴル	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MW マラウイ	US 米国
CI コートジボアール	IL イスラエル	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	MZ モザンビーク	VN ベトナム
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジエール	YU ユーロースラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NO ノルウェー	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュージーランド	
CZ チェコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明 細 書

耐疲労特性に優れたばねとこのばねを製造するための表面処理方法

技術分野

本発明は内燃機関用弁ばね、自動車などのトランスミッション用クラッチばねや高強度薄板ばね等を、微細な硬質金属粒子投射によって高性能化する表面処理方法とこの表面処理方法で製作した高性能ばねに関する。

背景技術

本発明に関連する従来技術としては以下のものがある。

1. 特公平2-17607号「金属成品の表面加工熱処理法」

この技術は、成品硬度と同等以上の硬度を有する $40 \sim 200 \mu\text{m}$ のショットを、速度 100 m/sec 以上の速度で噴射し、表面付近の温度をA3変態点以上に上昇させる表面加工熱処理法に関するものである。

この方法は、ワーク表面層の衝突による発熱によって被加工材のオーステナイト化と急冷却による金属組織の変態を起こさせる方法であり、本特許とは技術思想と内容が異なる。

2. 特開平9-279229号「鋼製ワークの表面処理方法」

この公報による技術では、 $20 \sim 100 \mu\text{m}$ の多数の硬質金属粒子を鋼製ワーク表面へ速度 80 m/sec 以上で衝突させ、ワークの表面の昇温限界を 150°C 以上であって回復・再結晶温度よりは低温に制御することを主な内容としている。

この特許では、窒化のことは言及されていない。また、この特許では、金属粒子の材質の規定、例えばその比重、硬さなどの限定がほとんどなく、また、衝突速度が 80 m/sec 以上の限定があるが、果たしてどこに最適速度があるのか明確ではない。この特許記載の実施例では 180 m/sec のみが記載されていて、効果があることは判るが、最良の条件か否かは不明といえる。

3. 特開平10-118930号「ばねのショットビーニング方法およびばね成 品」

0.64%C-Si-Mn-Cr-Mo-V系の鋼製ばねに窒化を施し、さらに0.5~1.0mm径のショットでショットピーニングの後、投射材の比重が12~16、粒径が0.05~0.2mmかつ硬さがHV1200~1600のピーニングで、表面の残留応力 $\sigma_R = -1950 \text{ MPa}$ 、繰返し数 5×10^7 回で、疲労限度は $700 \pm 620 \text{ MPa}$ が得られている。この疲労限度応力は、本特許の請求項8の疲労強度に達していない。

この特許の目的と方法は本願発明と似ている部分があるが、この特許では寸法0.05~0.2mm、比重12~16で高硬度かつ高価でメーカの限られる超硬合金粒子を利用するのに対し、本願発明では0.01~0.08mm径のより安価で入手容易な鉄系などの金属粒子を使用する。また、その結果得られる疲労強度も、この従来特許に比し本願発明は優れた効果を得ることができる。

4. 特許第2613601号（特開平1-83644号）「高強度スプリング」
重量でC 0.6~0.7%、Si 1.2~1.6%、Mn 0.5~0.8%、Cr 0.5~0.8%、V、Mo、Nb、Taの1種又は2種以上の合計0.05~0.2%、残部鉄及び不純物で、非金属介在物の大きさが最大 $15 \mu\text{m}$ 以下、表面粗さ $R_{max} 15 \mu\text{m}$ 以下、表面近傍の最大圧縮残留応力が、 $85 \sim 110 \text{ kgf/mm}^2$ ($833 \sim 1079 \text{ MPa}$) であるばねが記載されている。この特許では、表層近傍の最大圧縮残留応力が 110 kgf/mm^2 ($= 1079 \text{ MPa}$) を超えると製造が困難となること及び表面粗さの低下を招き、かえって疲労強度が低下する旨記載されている。この発明者のひとりとその他の研究開発者が、この特許出願後の1990年4月3日、ドイツ・デュッセルドルフでのESF (European Spring Federation) 主催のばね技術国際会議でこの発明技術で製造されたばねの性能を詳しく説明している。この論文のタイトルは自動車エンジン用高強度ばね (A High Strength Spring for Automotive Engine) で、著者はM.Abe, K.Saitoh, N.Takamura 及び H.Yamamoto である。この論文に記載されている特許2613601号発明該当のばねの表層最大圧縮残留応力は同論文第9図より、約 950 MPa 、最表面のそれは約 820 MPa 、同論文第2表よりこのばねの表面粗さは $R_{max} 10.6 \mu\text{m}$ である。その疲労限は、同論文第11図より、繰返し数 5×10^7 回で $\tau_m = 588 \text{ MPa}$ 、 $\tau_a = \pm (450 \sim 480) \text{ MPa}$ 程度であり、本願発明請求項9及び10に該当しない。

一方、本願発明では、表層の圧縮残留応力最大値が 1079 MPa を超えてもばねの表面粗さの増大を招くことはなく、しかも、残留応力は最表面またはごく表面近傍で最大となり、表面からの疲労破壊を効果的に防止できるので、窒化をしなくとも、本願発明の請求項 10、(2) 式の疲労限を満足するばねを得ることが出来る。

5. 特開平 5-339763 号「コイルばねの製造方法」

ショットピーニングによって表面粗さを低く抑えてデスケールしたのち窒化しさらに 0.8 mm 径のカットワイヤでショットピーニングすることによって、ばねの製品で表面粗さ R_{max} を $5 \mu\text{m}$ 以下とし、 5×10^7 回の応力繰返し数で、 $60 \pm 57 \text{ kgf/mm}^2$ ($588 \pm 559 \text{ MPa}$) の疲労強度を得たとの記載がある。しかし、この方法で得られた実施例記載のデータでは、疲労強度は本願請求項 8 の (1) 式を満足していない。また、この方法特許では、本願発明のような微細粒子投射が開示されていない。

6. 特開平 7-214216 号「高強度ばねの製造方法」

鉄鋼線材ばねに電解研磨を施し、その後窒化処理、さらに第一段目のショットとして硬さ Hv 600~800、径が 0.6~1.0 mm の粒子を使用し、引き続き第二段ショットとして 0.05~0.2 mm 程度の径で硬さが Hv 700~900 の範囲の粒子を使用するのが良いとの記載があるが、0.05 mm~0.2 mm の粒子寸法に関するそれ以上の分析や解析及び考察はされていない。また、実施例では、第二段ショットとして粒径 0.15 mm、硬さ Hv で 800 のステールボールを使用し、繰返し数 5×10^7 回におけるばねの疲労限は平均応力 637 MPa、振幅応力 $\pm 560 \text{ MPa}$ が報告されていて、本願発明の請求項 8 記載のばね疲労限をあらわす (1) 式を満たさない。また、第二段粒子投射条件の規定が本願発明とは異なる。

7. 特開平 5-177544 号「コイルばねの製造法」

この特許はばね成形後、窒化を施し、さらにショットピーニングを実施する方法である。このショットピーニングとは、まず第一段ショットピーニング、低温焼鈍、ついで第一段ショットピーニングよりも小さいショットを使用した第二段ショットピーニングを順次実施する方法である。この発明の詳細な説明欄には、第二段ショットピーニングとして寸法 0.05~0.20 mm 程度でその硬さ H

v 700～900のものを使用し、それを高圧で投射することが残留応力的に好ましいと記されている。しかし、0.05mm径の粒子投射と0.1mm径または0.2mm径の粒子投射の効果の差などについてそれ以上の詳しい解析や解説はされていない、実施例では直径0.1mmのスチールボールを使用し、Hv800、投射圧力5kgf/cm²の条件で第二段ショットピーニングを実施している。その結果得られた疲労限は、繰返し数5×10⁷回で平均応力τm=68.6MPa、振幅応力τA=±567MPaと記載されており、そのごく表層の圧縮残留応力は図3より1400MPaに達せず、いずれの値も本願発明8項を満足しない。

発明の開示

上記の従来技術欄にすでに個々の技術ごとに問題点を指摘した。従来技術では、表面窒化した比較的表層硬さの高いばねに対するショット投射方法として、50μm以上200μm以下の径の超硬粒子投射（従来技術3）、また、鋼製ワークの疲労特性改善に20～100μmの粒子投射は言及されており、粒子径などの限定はおおまかにされているものの（従来技術2、6及び7も同様）、真に有効かつ適切な投射方法と投射されたばねの性能の関係がかなりあいまいであった。

その他、従来技術3の特許では、使用する超硬粒子の値段は高く、投射粒子の経済性に問題があると推定される。また、実施例のばね疲労強度も本発明に比して低位にあることより、技術的課題を十分に解明・解決したとは考えられない。

従来より、内燃機関用弁ばねその他自動車用の各種ばねの小型軽量化を図ることが強く求められてきた。本発明はこのような要請を汲んで、各種ばねの疲労強度を従来以上に上昇させ、それによって自動車などの走行性能の向上、小型軽量化による燃費改善などを実現できるばね加工方法とばねを実現することを目的とする。このような優れた性能のばねを実現するためには、高応力の繰返し下でのばね表層からの微細亀裂の発生、成長の阻止及びばね表層直下の内部に存在する非金属介在物からの微細亀裂の成長を防止することが技術課題となる。本発明請求項1と2（窒化工程あり）、4（窒化工程なし）及び6（窒化工程あり、なし）はこの技術課題に対応する技術であり、この技術によって生産された高性能ばねが請求項8～12である。これら請求項は上記の二つの技術課題に対する回

答を比較的経済的に提供するものである。このほかに、比較的薄い板や細い線ばねの疲労強度向上の方法が請求項3、同じくこの技術で生産されるばねが請求項13である。請求項5、6の技術は上記の請求項1～4の技術に対して、特に表層からの疲労破壊を防止する効果が大である。

本願発明で言う投射速度はばね表面への投射粒子衝突直前の速度のことである。粒子投射方法として本願発明は、インペラ一方式と空気などのガスを担体とするホーニング方式を採用する。また、外部応力を静的又は定ひずみ状態で負荷して、ばねに粒子を投射するいわゆるストレスピーニングを採用しても微細粒子などの粒子投射効果を損なわず、むしろ表層圧縮残留応力をさらに改善し、疲労折損防止効果があるので、応力負荷で粒子を投射する方法も本願発明の方法に含まれる。ただし、ストレスピーニングには特殊な専用治具又は装置が必要であり、コスト増加をもたらす。本発明の請求項8～12の請求項は、ストレスピーニングではなく、応力又はひずみを付与せずに粒子投射を施されたばねに関するもので、ストレスピーニングに拘らずとも得られる高疲労強度ばねである。

その他、本願発明の微細粒子投射はばねを予め100～250°C程度の温度に加熱して行ってもその効果は失われず、本発明方法に含まれる。また、同様、本願請求項記載の粒子投射と次のより微細な粒子投射の間に、及び最終粒子投射工程後に150～250°Cのひずみ時効硬化処理または低温焼鈍を施すことや粒子投射後に温間／冷間セッティングを施すことも本願発明の内容に含まれる。

ばねの受ける応力が高くなると、ばね表層に大きな応力がかかり、表層部が応力繰返しに耐え切れずに微細亀裂を生ずる。この微細亀裂の防止には、まず、ばね表層の残留応力を圧縮状態とし、かつその絶対値を出来るだけ高めることが必要である。圧縮残留応力はその弹性限以上に付与できないが、本発明はこれを克服するため、微細粒子投射によるばね表層の加工硬化によって弹性限向上を同時に実現して、圧縮残留応力を高い水準に押し上げる。併せて、ばね表層の延韌性を損なうことなく降伏点や硬さを出来るだけ上昇させることによって、繰返し応力によるすべり変形を防止して、表層の微細亀裂の生成と成長を防止する。この他に、粒子投射によって、ばね表層に微細なへこみや亀裂を生ずると、これが疲労亀裂の元になるので、粒子投射で表層にこのような表面欠陥を作らない配慮と投射条件が必要になる。このような要件を満たすために、本発明では、10μm

以上 $100 \mu\text{m}$ 未満の径、さらに望ましくは $10 \sim 80 \mu\text{m}$ 径の最適形状と物性を有する微細金属粒子を最適な速度条件で投射する。特に、本発明では、ばね表層において、A3変態点を超えることなく投射速度と投射密度を上げていくと、回復・再結晶を起こさない時でもばね表層に微細な亀裂又は強加工による表層の延靱性劣化を生じて、疲労強度がより低速投射の場合よりも低下することがわかった。ばね表層でこのような微細亀裂を生じないように、かつ、A3変態点よりも低温で、かつ、鉄地が回復再結晶を起こすよりも低温で、表層に加工硬化又はひずみ時効を伴う加工硬化を十分に起こすが延靱性劣化や微細亀裂を生じないように微細粒子を適切な条件で投射することによって、優れた特性のばねを得ることができる。線径が 2 mm 程度以上または板厚が $1.5 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$ 程度以上のばねでは、窒化後または窒化しないばねに $0.2 \sim 0.9 \text{ mm}$ 径の鉄系粒子投射をして内部に深く残留応力を付与してから上記の微細粒子投射を行うことが必要である。この時、まず上記 $0.2 \sim 0.9 \text{ mm}$ 径の粒子投射として、まず $0.5 \sim 0.9 \text{ mm}$ 径の粒子を投射、引続き $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ 径の粒子投射を行うことも含まれる（請求項 5、6）。

次に、ばね表層下の内部の非金属介在物による疲労折損の防止のためには、おおまかにいって、次の三つの方法がある。そのひとつは、ばね用材料に含まれる非延性非金属介在物の寸法低減である。有害となる介在物の最小寸法（臨界寸法）は、ばねの硬さが高くなるほど小さくなり、介在物周りの鉄地の硬さが Hv 520 ~ 580 程度の場合、 $20 \sim 15 \mu\text{m}$ 程度であり、同じくそれが Hv 580 ~ 630 では、 $10 \mu\text{m}$ 程度である。従って、ばね材料内部に存在する非金属介在物の寸法が臨界寸法以上であれば、その最大寸法に応じてばね材料の内部硬さを規制することが必要になる。二番目の方法は、有害な非金属介在物の存在する場所の周囲の残留応力を圧縮状態に保ち、それによって介在物周りの微細亀裂の成長を防止する。このために、 $0.5 \sim 0.9 \text{ mm}$ のないし 1.0 mm のまでの比較的径の大きなラウンドカットワイヤを、速度 $40 \sim 90 \text{ m/sec}$ で投射して、ばね表面から 0.2 mm のないし 0.5 mm の深さまで圧縮残留応力を付与することが従来より行われている。ばねの線径または板厚が 1.5 mm のないし 2.0 mm 以上 2.5 mm 以下の場合、 $0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$ 径のラウンドカットワイヤを $40 \sim 90 \text{ m/sec}$ の速度で投射して、 $0.06 \sim 0.13 \text{ mm}$ 程度の深さ位

置に圧縮残留応力を付与して介在物からの折損を防止することも必要である。これらのとき、投射速度が速くなると、ばね材料表層には局部的に不均一な変形領域が発生して表層に微細な凹みや亀裂を生じてばね表層からの疲労折損を起こしやすくするので、前述のようにこのような欠陥のないように投射することが必要である。このような微細亀裂などの発生を防止するには、投射速度は 90 m/sec を上限として、具体的なばね毎の最大投射速度を決める必要がある。また、投射速度が 40 m/sec を下回ると残留応力付与効果が小さくなり十分に深くまで付与できないので下限速度は 40 m/sec とした。

第三の方法は介在物を含むばね用材料の硬さを下げる事であるが、硬さをむやみに下げると、ばねの重要な特性のひとつであるへたりが大きくなり、ばね性能が損なわれる所以、この方法はむやみに採用できない。このため、本願発明の請求項 8～10 及び 12 では、0.2～0.5 mm 深さの位置における硬さが少なくとも Hv 520 以上となるようにする。通常、介在物を起点とするばねの疲労破壊はばね表面からの深さ 0.2～0.5 mm で起り、この深さ領域の鉄地の硬さと疲労強度は密接な関係がある。有害な炭化物、窒化物、硼化物などを含む介在物の破壊面における平均寸法を 20 μm 未満ないし 15 μm 程度以下になるように製鋼工場での介在物制御と製線工場での熱処理などの炭化物などの寸法制御をすることによって、この深さ領域における硬さが Hv 520～580 の場合、介在物などによる疲労破壊は防止できる。本願発明請求項 9 では、介在物のばね破断面での平均寸法が 10 μm 以下となるように制御できれば、表面から 0.2～0.5 mm 深さ位置における硬さが、Hv 630 以下で介在物などによる疲労折損を防止できるので、本願発明請求項 8 では 0.2～0.5 mm 深さ位置における硬さを Hv 630 以下に限定する。請求項 9 の窒化のない場合の高強度ばねの介在物の限定も上記とほぼ同様の趣旨でその最大寸法を硬さに応じて限定した。請求項 12 で窒化のない場合のシリコンクロム鋼ばねの介在物最大寸法と硬さの関係を限定したが、この場合、0.2～0.5 mm 深さにおける硬さは Hv 520～600 になるので、介在物寸法は 15 μm 程度以下にする必要がある。

上記の介在物含有状態は、ばね用材料の種類によっても変わる。すなわち、一般的に Si, Cr, Mo, V, Nb, W, Al などの合金添加量の増大は、ば

ね用鉄鋼材料の非延性非金属介在物のレベルを悪化することがある。ピアノ線の場合、現状の技術で $10 \mu\text{m}$ 以上の介在物はほぼ皆無ことが多い。弁ばね用合金鋼オイルテンパー線の場合、有害な介在物として Al_2O_3 (アルミナ)、 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (スピネル)、 SiO_2 (シリカ) などがある。これらの硬質の非延性酸化物系介在物は、製鋼時の延性介在物への形態制御によって無害化できる。一方、 VC 、 NbC 、 TiC 、 TiN などの炭化物又は窒化物又は炭窒化物は球状又は角張った形状を保つので、 V 、 Nb 、 Ti などの元素を比較的多く含むばね用鋼材の場合、この対策として、圧延、焼鈍の加熱条件の検討、製鋼段階での原材料からの Ti などの混入防止、などの方策によって無害化又はその生成防止を図らねばならない。有害介在物の存在によるばねの疲労折損防止には、ばね用鋼材に含まれる V 、 Nb 、 Ti などの含有量を極力低減させることが望ましいが、請求項 8 の成分鋼①では V 及び / 又は Nb はそれぞれ $0.03 \sim 0.60\%$ 、 $0.02 \sim 0.20\%$ の添加で結晶粒微細化に有効でばねの延靱性を改善するとともに、窒化を促進する。成分鋼①に添加される Ni はばね鋼の延靱性改善効果があり、高強度に調質されたばねの疲労損傷防止及び疲労亀裂伝播防止にも有効と考えられる。しかし、 0.5% を超えると、線材及び線の加工において、残留オーステナイトを生成しやすくなり、かえって製造途中のばね鋼の延靱性を低下させるので、上限を 0.5% とした。また、成分鋼①への Co 添加はパーライト変態などの高温からの冷却時の変態時間を減少させ、線の製造中における金属組織を冷間加工性の良い微細パーライトにさせるなどの効果をもたらし、線の製造を容易にする。しかし、 3.0% を超えて添加しても、経済的に高価な元素であり、費用の割に効果が少なくなるので、添加量上限は 3.0% とした。

請求項 8 の成分鋼①または②に対して、 Mo 、 Cr 及び Al の添加はいずれもばね窒化時の窒素進入を促進する。いずれの元素もその添加量が増え過ぎると、ばねのごく表面に窒素化合物が析出してばね内部の深さ方向への拡散浸透が妨げられて、ばねの疲労耐久性向上効果が小さくなる。このため、本発明では、 Mo 、 Cr 及び Al の添加量上限をそれぞれ質量 % で 0.6% 、 1.8% 及び 0.5% とした。 W は耐熱性を高め、ばねの脱炭防止に有効であるが、成分鋼①または②に 0.5% を超えて添加すると焼入れ性が過度になって焼きなまし回数が増

えるなど、製造上の煩雑さとコストアップが顕著になるのでその上限を0.5%とする。成分鋼①で、Cは鋼の強度を向上させ、疲労強度のためにも必要であり、0.5%を下回るとその効果が小さくなるので、その下限を0.5%とする。また、Cが0.8%を超えると強さ向上効果が小さくなり脆性を示すようになるので、その上限を0.8%とした。なお、表層に脱炭層があつても、その程度が極端でなければ、窒化によって硬さは補償されるので、このような脱炭した材料も本願発明の方法を適用できる。Siはばねの強さと耐へたり性に良い効果を発揮する。また、焼入れ焼戻しされて強化するばねでは、1.2%より少量では効果が小さく、2.5%を超えると製造時の脱炭助長や延靱性劣化による加工性に問題が生じやすいので、その下限と上限は成分鋼①において1.2%及び2.5%とする。

このほか、本発明では請求項8の④の成分を有するマルエージング鋼でも疲労強度向上効果があるので、これを④として請求範囲に含めた。

マルエージング鋼は800~900°C程度の高温加熱による合金元素溶体化とオーステナイト化（溶体化）処理、冷却によって比較的軟らかいマルテンサイトとなり、これに冷間で伸線処理を施し、加工硬化させてからばね成形をする。このあと500°C近傍で時効処理を施し強さとばね性を得る。この後に窒化処理を施して請求項1または2記載の方法で疲労強度を高めることができる。また、窒化せずに請求項3、4の方法で優れた疲労強度を持つばねを得ることができる。マルエージング鋼ばねは低合金鋼線ばねに比して優れた耐へたり性を有するので、時効後の引張強さは1900 MPa以上でその性能が発揮でき（請求項9）、とくに耐へたり性と耐疲労性を要求される用途に適している。なお、溶体化処理とは、ステンレス鋼や高マンガン鋼などの高合金鋼に適用される熱処理であつて、炭化物などを高温で固溶（鋼の組織の中に溶け込ませる）させた状態から急冷して、析出物を再析出せずに常温にもたらす熱処理である。

本発明は、①加工工程で窒化（窒素添加が主目的の低温浸炭窒化も含む）処理するばね（請求項8）とその製造方法（請求項1、2及び5と7）、②加工工程で窒化又は低温浸炭窒化をしないばね（請求項9~13）とその製造方法（請求項3、4及び6と7）からなっている。

①の窒化処理するばねでは、窒化前に行うデスケール処理方法として、酸洗、

電解研磨、ショットピーニングなどが従来より知られている。酸洗ではばね表面の水素脆性による微細亀裂生成などの問題があり、本発明には適さない。電解研磨は大量生産に適用するにはその装置が大掛かりになるなどの問題点を有するので、本発明では窒化前のデスケールに、ショットピーニング（粒子投射）を取り上げたが、有害な表面の微細亀裂や局所的せん断変形帯を発生しないようにその投射速度、投射粒子径などを調整する必要がある。窒化前の粒子投射によるこのような表層欠陥は、窒化処理後も消滅せずに残る。窒化前のデスケールのために粒子投射を施す場合、比較的深くまでかつ比較的低温で窒化を促進するには、材質は鋼系などで、0.3～0.8 mmの比較的大きな粒子をばね表面層に40～90 m/secのいずれかの速度で損傷を与えないように投射するのがよい。また、ばねに応力がかかった時に、ばね端末近くの隣合う線同士が接触を起しやすいが、このような線間接触部にデスケーリングを十分に起こさせて窒化時に窒素の進入を促進して、ばね端末近傍からの疲労破壊を防止するには、上記0.3～0.8 mm粒子投射のあとに10 μm以上100 μm未満、さらに望ましくは10～80 μm径の微細粒子投射が効果を発揮することが判った。この時の投射条件として、表層に疲労に有害な微細亀裂や局所的変形帯をせずに微細粒子投射をするには、その投射速度は50～160 m/sec、さらに望ましくは60～140 m/secにし、さらに微細粒子投射時のばね表層温度を回復・再結晶を起こすより低温に制御することが、表層欠陥防止に有効であることがわかった。窒化温度が500°C以下450°C程度以上では、微細粒子投射による表面の塑性変形域の深さは比較的浅いが、窒素は0.3～0.8 mm径の粒子投射と遜色のない深さまで進入することがわかったので、0.3～0.8 mmの粒子投射をせずに微細粒子投射のみを施すことも有効である。請求項2はこのような目的と理由でその投射条件を限定した。

窒化処理または低温浸炭窒化処理は500°C程度以下の温度で実施され、主として窒素、場合により一部炭素も付加してばね表層部に導入する処理であり、ばね表層部における窒素（場合により炭素も少量）侵入の結果、圧縮残留応力を表層部に高く付与する。本願発明の微細粒子投射は窒化後のばね表面硬さHV800～1100程度の比較的硬いばねにも効果がよく認められる。窒化後の0.2～0.9 mm径の粒子投射は圧縮残留応力の深さを窒化のままよりもさらに深い位

置まで持ち来す。このため、表面近傍から 0.5 mm 深さ位置での非金属介在物や微細亀裂からの疲労破壊を防止する効果を発揮する。

上記のように比較的大きな 0.2 ~ 0.9 mm 径の鉄系粒子投射後に、さらに本願発明の微細金属粒子の最適条件での投射によって、表層からと内部非金属介在物からの疲労折損を高応力での繰返し負荷下でも防止できる。

窒化後の粒子投射は、まず、硬さ Hv 500 ~ 800 であって、かつ、処理されたばねの最表層硬さ（最表面から 5 μm 程度の深さ位置でのマイクロビックアス硬さ）よりも軟らかく、粒子径 200 ~ 900 μm の鋼などの硬質金属粒子を 40 m/sec ~ 90 m/sec で投射し、これにより表層の有害な微細亀裂生成を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部まで付与するか（請求項 1 及び 2）、または、0.5 ~ 0.9 mm 径の硬さ Hv 500 ~ 800 の粒子投射を実施し、さらに 0.2 ~ 0.4 mm 径の硬さ Hv 500 ~ 800 の粒子投射をして、表層の有害な微細亀裂などを防止しつつ比較的表層近くを含む内部の圧縮残留応力を高く付与する（請求項 7）。

これに引き続き、硬さ Hv 600 以上 Hv 1100 以下、かつ、上記粒子投射前の窒化ままのばね最表層硬さと同等又は同等以下の硬さを有する、全投射粒子平均径 80 μm 以下、個々の粒子の平均径 10 μm 以上 100 μm 未満、さらに望ましくは全粒子の平均径 65 μm 以下、個々の粒子平均径 10 ~ 80 μm、比重 7.0 ~ 9.0、形状として球形又は球形に比較的近い金属粒子を速度 50 ~ 190 m/sec の速度で、また、さらに望ましくは、速度 60 m/sec ~ 140 m/sec で投射する（本願発明のこのような微細硬質金属粒子投射技術を、以下、SS 処理と呼ぶ）。

図 1 は C : 0.60%, Si : 1.45%, Mn : 0.68%, Ni : 0.28%, Cr : 0.85%, V : 0.07%（単位：質量%）を含有するばね鋼に窒化後、0.6 mm 径の高炭素鋼粒子（硬さ Hv 550）を速度 70 m/sec で投射した表面硬さ Hv 930 のばね表面への、投射微細粒子による衝突速度が投射後の表面近傍の圧縮残留応力に及ぼす影響を求めた実験結果であり、最表層と表層 10 μm 深さでの圧縮残留応力を共に 1900 (N/mm²) 以上の高応力とする衝突速度が 95 m/sec 前後で最適であることが分かる。ここで、投射粒子の呼称径は 50 μm で、n = 60 個の測定で全粒子平均径は初期品（新品）で約

63 μm 、最大粒子の平均径は 80 μm 以下、最小粒子平均径は 50 μm 、個々の粒子それぞれの最大／最小径比 1.1 以下が大半でごく一部に 1.5 以上の粒子が混在するが角張った鋭いエッジを持たない球形または球形に近い橢円球粒子であつて、平均硬さは HV 860、比重 8.2 であった。また、温度制御に関しては、衝突によるばね表面窒化層の鉄地（窒素化合物層を除外）の瞬間的昇温限界を、窒素原子との相互作用下で有効に加工硬化を起こさせるが、ばね表面層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射した。このような温度制御がなされていることの確認は、ショット後の試料ワーク表層の、マイクロビックース硬さ測定や電子顕微鏡による高倍率組織観察などの手法でなされる。

前記実験の結果を示す図 1 から分かるように、速度 $v = 90 \sim 152 \text{ m/sec}$ の間で、表層近傍（最表層～10 μm 深さ）の最大圧縮残留応力値は 1800 MPa を超え、良好な分布を示した。特に、 $v = 90 \text{ m/sec}$ の条件では最表面の圧縮残留応力はほぼ 2000 MPa となり、分布も良好で、疲労強度向上効果が大きいことが分かる。すなわち、 $v \leq 152 \text{ m/sec}$ 、全粒子平均径 63 μm の高速度鋼粒子投射では、ワーク表面近傍に局部的な断熱せん断帯や窒化化合物層のクラックなどの、疲労寿命を阻害する可能性のある欠陥は殆ど発生しないのである。しかし、同じ粒子投射でも速度が 170～190 m/sec を越えると、表面近傍に微細亀裂や強変形帯が出現するとともに、残留応力もより低速の場合より低下する。このため、本発明では、微粒子投射速度の上限を 190 m/sec とした。ここで、微細粒子投射速度が 190 m/sec より速くなると、窒化表面に微細亀裂が生成するか、あるいは、表層の加工脆化によって疲労耐久向上効果が小さくなる。また、この微細粒子寸法のばね疲労強度に及ぼす影響は、投射粒子の中に、角張った鋭い角片状の粒子が存在すると、疲労強度向上効果が少なくなり、また、平均径が 100 μm 以上の大きな粒子が混在すると、疲労強度向上効果が損なわれる。さらに、最表層と 10 μm 深さの応力曲線が交差する点におけるショット速度は 95 m/sec であるが、この交差点の前後 20 % のショット速度（76～114 m/sec ）では表層圧縮残留応力が 1800 MPa 以上となり、比較的厚い表層範囲で大きな圧縮残留応力を形成可能であることが分かる。なお、10 μm 深さまでの表面層の圧縮残留応力が最大値を得る条件よりも低速側で疲労強度向上がより期待され、投射速度 60 m/sec 以上で残留応力は 1700 MPa 程度

以上で良好な疲労試験結果が得られる。また、投射速度が 130～150 m/sec、平均 140 m/sec 以下でも同様に疲労特性に特によい結果が期待されるので、望ましい速度として 60～140 m/sec を本願発明の範囲とする。上記全粒子平均径 63 μm の微粒子投射速度が 90 m/sec、190 m/sec の場合の残留応力分布を図 2 に示す。

次に、粒子の硬さを少し下げて Hv 700 とし、全粒子平均粒径は呼称 50 μm、実質 40 μm、最大粒子径が約 75 μm の鋼粒子を使用して前記と同様の実験を行った。この結果、速度 190 m/sec の場合、高速度鋼粒子投射と同様、化合物層のミクロクラック発生と一部剥落が認められた。また、速度 v = 60 m/sec から 140 m/sec の場合、表層近傍の最大圧縮残留応力は上記の高速度鋼粒子投射のときよりやや小さいものの 1700 MPa を超える値を示し、耐久性向上に大きな効果が期待できることが分かった。この時使用した供試窒化ばねの表面硬さは Hv 930 程度である。微細粒子投射完了後のはね表層硬さは微増の Hv 950 程度に止まったが、上述のように、ワーク最表層硬さと同等以下の硬さの粒子投射でワーク表層に大きな圧縮残留応力が形成されることが確認された。図 3 は高強度弁ばね用オイルテンパー線に窒化処理後、0.6 mm の高炭素鋼粒子投射を施した図 1 の試験で供試したと同じばねに寸法の異なる粒子投射をして、横軸に投射粒子初期呼称径（袋入り新品に表示の呼称径）を取り、縦軸に表面の圧縮残留応力をとって整理した図である。いずれも投射粒子の材質は比重 8.2 の高速度鋼で、粒子の初期平均硬さは呼称径 50 μm で Hv 860（初期の全粒子平均径は実測でほぼ 63 μm）、呼称径が大きくなるとともに低下し、呼称径 200 μm で Hv 770 である。なお、図中の数字は粒子のはね表面への衝突速度（単位：m/sec）である。この図から、呼称径 100 μm 粒子投射では、50 μm の場合に比べて表面の圧縮残留応力付与効果は大幅に低下することが明らかである。なお、呼称径 100 μm の新品粒子の中で、最大粒子の平均径は 125 μm、同じく新品の呼称径 50 μm の粒子中の最大粒子平均径は 80 μm であった（いずれも n = 60 の測定結果）。いずれの粒子も鋭い角を持たず、主として球状で、一部、球に比較的近い楕円球形状であった。

形状が鋭い辺を有する微粒子は疲労を阻害する傾向をもたらすので望ましくない。また、たとえば、平均径 44 μm の微細粒子個々の粒子径ばらつきが大きく、

その中に90以上105 μm 以下の寸法の粒子が数%以上混在している場合、疲労強度向上効果は平均径44 μm 、最大粒子径が約75 μm の場合に比べて少ない。このように、ばねの疲労強度向上効果は、全投射粒子の平均径も影響するが、それ以外に、最大粒子径が大きな粒子の混在が疲労強度を阻害する。そのため、本特許では、実質、80 μm より大きな粒子の混在は疲労強度向上効果はあるもののその効果の程度が低下するため、上限の寸法を100 μm 未満、さらに望ましくは80 μm とする。なお、個々の投射粒子の平均径が全粒子の平均径もしくは公称径よりも小さい粒子は、その形状が、角張らず、比重7.0~9.0、硬さHV700以上、1100以下の球状又はそれに近い場合は、投射効果を阻害しない。むしろ、個々の粒子平均径が50 μm より小さくなるとばね極表層の硬さと圧縮残留応力上昇に有効である。しかし、粒子径が小さくなるにつれて硬さと残留応力の影響厚さが減少するので、本発明の処理方法（請求項1と2及び5）では全粒子平均径20 μm 以上を望ましい条件とする。また、10 μm 以下の微小粒子は、比較的少量混在しても、形状、比重等の特徴が請求項記載の粒子に準ずるものは、投射効果に悪影響はないので少量の存在は本特許に包含される。なお、投射粒子呼称径が小さくなるとともに、一般的に、その寸法のばらつきなく粒子を生産または使用するのは困難となる。従って、呼称径が決まっても、実際には粒子寸法は分布を持ち、この分布を加味して粒子を選定しないと良い効果が得られない。

窒化によって、表層の硬さがHV850程度以上である場合、硬さが同等以下の粒子であっても、衝突時に粒子の持つ運動エネルギーの一部はばね表層の変形に費やされ、このため、表層の温度も瞬間的であるが上昇する。これによって、窒化されたばね表層部の降伏と塑性変形が進行し、固溶窒素原子と運動転位との相互作用による転位増殖の促進と転位固着による硬化が進行すると考えられる。微細粒子の硬さがHV600より低くなるとばね表層における残留応力生成効率が小さくなるのでその下限をHV600とする。ただし、HV500~600であればばね表層の変形と圧縮残留応力形成は可能であるので、場合によって、下限の硬さをHV500以上としてもよい。投射粒子の硬さが窒化されたばね表面の硬さよりも硬くなると、ばね表面からの微細亀裂を生成する傾向を生じてばねの疲労強度を損なうので、ここでは粒子の硬さ上限をばねの表面硬さと同等以下

とする。

ここで「窒素原子との相互作用下での加工硬化」について説明することとする。窒化されたばね鋼材表面には、イプシロン鉄窒化物などの鉄系窒素化合物が形成されることがある。さらにその内部には、鋼中に拡散浸透した窒素原子の一部によって比較的微細な鉄窒化物が形成されて硬さ上昇に寄与する。しかし、これら以外にも鉄地中には固溶した窒素が存在し、この固溶窒素はそれ自体で硬さ上昇と圧縮残留応力向上に寄与する。この固溶窒素は、SS処理の時には塑性変形に対する抵抗となるが、ワーク表層が塑性変形を開始すると、転位が運動すると共に発熱の影響を受けて、窒素原子の鉄中の拡散速度が上昇する過程で、転位の少なくとも一部を固着し、転位増殖を促して転位セル（サブグレイン）を微細化する。これによって、ばね使用時の表層の繰返し応力によるすべり変形帯の発生を防止し、その結果として疲労破壊の微小亀裂生成を防止すると考えられる。窒素は炭素に比較してその固溶度ははるかに大きく、しかも鋼中のマンガンやシリコンなどとの共存によってその固溶度は鉄-窒素二元系の場合の固溶度よりもはるかに大きくなると考えられる。この点からもばね鋼に対する窒化とその後のSS処理は、ばね特性向上のために非常に有効であるといえる。

以上のような投射粒子寸法の影響をふまえ、本願発明では初期全粒子平均径を80μm以下、かつ個々の粒子が10μm以上100μm未満、形状として、角張らず、球形またはそれに近い形状で、安価で入手の容易な鉄鋼系の材質を主に考えて比重7.0～9.0、硬さはHV600～1100、かつ、ばね表層の粒子投射前の硬さと同等以下とする。さらに望ましくは、初期全粒子平均径65ないし50～20μm、個々の粒子それぞれの平均径を80μm以下とする。

次に、②の窒化（及び低温浸炭窒化）を施さないばねの疲労強度向上に関する本発明方法の手段について記す。

従来から窒化又は低温での浸炭窒化処理によらずに、ばね表面の圧縮残留応力を上げるには、(i) 従来よりも高強度の材料を使用してショットビーニングの改善・工夫をするか (ii) 従来と同じ材料を使用してショットビーニングの改善・工夫をする場合がある。(i) 及び (ii) のショットビーニング方法の改善としては、ばねに予め応力を負荷して粒子投射を施す方法（ストレスビーニング）や2～3段に分けて粒子投射を施し、順次投射粒子径を小さくする方法、ば

ねを温間に加熱した状態で粒子投射を施す方法などが知られている。ばねが高強度になるに従い、その弹性限が向上するので、より高い残留応力が付与できる。しかし、たとえば、既述の従来技術4、特開昭64-83644号「高強度スプリング」に記載されているように、JIS規格G3561(1994)に規定されている弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンパー線の引張強さよりも高い引張強さを有し、その化学成分も上記JIS規格と異なる高強度オイルテンパー線に対して、表層近傍の圧縮残留応力を従来の技術で 1079 MPa (110 kgf/mm^2)以上に付与すれば、ばね特性の信頼性も低下するのは、残留応力以外に表面の微細亀裂生成などが関係するためと考えられる。本発明では、しかし、窒化を施すことなく、請求項4または4と6、またはそれらと7の方法によって、高強度弁ばね用オイルテンパー線から成形したばねで、ばねが高強度になるほどばね材料の弹性限が上昇することもあって、ごく表面で $1200\text{ MPa} \sim 1600\text{ MPa}$ 程度の圧縮残留応力が得られ、しかも、疲労強度を阻害する微細亀裂などは防止できることがわかった。高強度オイルテンパー線の高強度とは、現在世界的に弁ばねに適用されているJIS弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンパー線の引張強さよりも引張強さを高くした、例えば線径 2.6 mm では 2060 MPa を超える引張強さ、 3.2 mm では、 2010 MPa を超える引張強さ、同 4.0 mm では、 1960 MPa を超える引張強さ、同 5.0 mm では 1910 MPa を超える引張強さで、線径に応じてこれらの数値よりも $300 \sim 200\text{ MPa}$ 程度まで引張強さレベルを高めた線が適している。その理由は、引張強さが大きくなりすぎると、残留応力付与の点では有利な面があるが、ばね成形性に問題が生じること及び非金属介在物などの微少な欠陥で疲労破壊を生じるためである。請求項9と10は、このような高強度材料を用いて窒化を施すことなく得られる、高疲労強度のばねである。また、請求項11記載の伸線または圧延で強化したパーライト組織鋼、請求項12記載の汎用されているJISシリコンクロム鋼オイルテンパー線や請求項13記載の薄板ばねや細線ばねなどに対してもそれそれ、本発明の方法で高い残留応力と疲労強度改善が出来ることがわかった。請求項4の(B)工程で、投射微細粒子材質が高炭素鋼または高速度鋼などではばねと類似材質であるため、ばねと同等の弹性係数であるので、弹性変形がばね表層と投射粒子に同時に分配されて起こること及び粒子形状が角張らず、微細である

ことが、疲労強度を阻害する微細亀裂の生成や過度の表層加工を抑制する一因と考えられる。このように表面の圧縮残留応力が微細粒子投射で大きく上昇するのは、表層での大きな塑性変形による転位の導入と、導入された多数の転位の炭素原子による固着が粒子投射毎に繰返し進行することが関係している。すなわち、炭素原子の供給は、もともと鉄炭化物の形でばね用材料に存在した炭素が、微細粒子投射によるごく短時間の高圧力と温度上昇によって熱力学的に不安定となり、その一部が短時間で分解して、その結果自由になった炭素原子が転位の周りに拡散して転位の弾性応力場を緩和するとともに転位の移動の抵抗となって、転位の増殖を促進する。このため、転位セル構造が微細化され、韌延性を損なわずに表層の硬化と高い圧縮残留応力を付与する。ただし、請求項 8 の④のほとんど炭素を含まないマルエージング鋼では、微細粒子投射による表面近傍の圧縮残留応力増加と硬さの増加は、上記の鉄炭化物の分解よりも、転位密度の増加が主として寄与する（窒化している場合は窒素化合物の分解と転位固着による転位の易動度低下が転位密度増加と転位固着を進める）と考えられる。

図4は、C : 0. 57%, Si : 1. 5%, Mn : 0. 7%, Cr : 0. 68%（単位はいずれも質量%）、残部不純物及び鉄よりなる微細パーライト組織の冷間伸線、その後冷間圧延仕上げの厚さ 0. 97 mm、平均表面硬さ H V 537~589 の板の曲げ疲労強度に及ぼす呼称 50 μm 径 ($n = 60$ 個) の実測で、高炭素鋼粒子の初期平均硬さ H V 865、比重 7. 5、全粒子平均径は 37 μm、個々の粒子の平均径は 10~75 μm に分布しており、いずれも球形またはそれに近く、鋭いエッジはない。高速度鋼粒子の初期平均硬さ H V 860、比重 8. 2、全粒子平均径は 63 μm、最大粒子平均径 80 μm、最小粒子平均径 50 μm の鉄系微粒子投射速度が投射後の疲労強度に及ぼす影響を整理したものである。この場合、衝突速度が 100 m/sec のあたりに最適投射速度があることがわかる。粒子投射による衝突速度が 107 m/sec 及び 183 m/sec の高炭素鋼粒子投射では、最表面の圧縮残留応力はいずれも 950 MPa であった。それにも関わらず、前者の疲労強度が後者より高いのは、残留応力以外に表層の微細亀裂発生又はばね表面の延韌性が関係することを示す。すなわち、投射速度が 183 m/sec の場合、ばね表層の微細亀裂生成、延韌性の劣化を招いたと考えられる。このように速度が 183 m/sec になると、疲労強度改善効果が認められるもの

の、投射速度 160m/sec 以下の場合よりもその効果は小であるので本願発明請求項 3、4 および 6 では微細粒子投射速度を 160m/sec 以下さらに望ましくは 140m/sec 以下とする。投射速度が 50m/sec を下回ると疲労強度改善効果は小さくなるので、これを下限とした。さらに望ましくは 60m/sec を下限速度とした。また、投射粒子の全粒子平均径を変化させて、上記と同一材質の粒子投射を図 4 の被加工ばねと同じばねに施した。その結果、投射粒子の新品での呼称径が $100\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ 、 $300\mu\text{m}$ と大きくなるにつれ、粒子投射後のばねの疲労強度は大幅に低下した（図 5）。粒子寸法が大きくなるにつれて疲労強度向上効果が小さくなるのは、ごく表層の圧縮残留応力付与効果の低下と硬さ上昇程度の低下などによると考えられる。このため、本願発明では投射粒子の全平均径は $80\mu\text{m}$ 以下、かつ、個々の粒子の平均径は $100\mu\text{m}$ 未満とする。これを超えると、効果はあるものの有効性は低下する。

本発明で、窒化しないばね表面への投射金属粒子の最小平均粒径を $10\mu\text{m}$ としたのは、それ以下では投射による圧縮残留応力の深さが数 μm 以下となり、十分な圧縮残留応力が得られる深さが浅くなることによる。ただし、 $10\mu\text{m}$ 以下の径の粒子が混在しても、少量であれば品質上の問題はない。また最大平均粒径を $100\mu\text{m}$ 未満としたのは、それ以上の粒径では表層の残留応力と硬さ改善効果が小さくなるためである。

全投射粒子の最大平均寸法を $80\mu\text{m}$ としたのは、全粒子平均寸法 $100\mu\text{m}$ の場合よりもその耐久性向上効果が大なるためである。比重 $7.0 \sim 9.0$ としたのは、比較的安価かつ容易に入手できる鉄鋼材料で作られた粒子の活用を狙ったものである。鋼製ばねの弾性係数の約 196GN/m^2 に比べて、超硬合金では $450 \sim 650\text{GN/m}^2$ であり、弹性変形及び塑性変形は投射された粒子よりもむしろ、被投射ばね表面層に集中することになる。このため、超硬合金では、表面の凹凸が比較的大きくなり、また、断熱せん断変形帯などの不均一変形が比較的発生しやすくなる。本発明では、過度に変形が被加工材であるばねに集中するのを避ける目的もあり、鉄系粒子使用を意図してその密度を $7.0 \sim 9.0$ に設定する。

また、窒化しないばねに対する投射粒子の硬さ下限を $Hv350$ としたのは、被加工材ばね表面の硬さとして、 $Hv400 \sim 600$ のばねが多いが、被加工材

硬さよりもやや軟らかい粒子投射でも、本発明の効果が発揮されるためである。

また、投射粒子硬さ上限を Hv 1100としたのは、比較的安価に入手できる鋼製粒子の硬さの上限として Hv 1100が設定できるのと、硬さが Hv 1100以下では、耐疲労性向上効果が十分に認められるためである。

粒径 10 から 100 μm 未満、比重 7.0 ~ 9.0、硬さ Hv 350 ~ 1100 の硬質金属粒子の投射速度下限を 50 m/sec とする理由は、それ以下では、投射エネルギー / 粒子投影面積が不足して、十分な耐久性改善が出来ないためである。また、上記粒子の投射速度の上限を 160 m/sec としたのは、それを超える速度では投射エネルギー / 粒子投影面積が過大となり、ばね表層の圧縮残留応力がそれ以下の速度よりも低下するとともに、表層の微小亀裂生成が促進されて、ばねの耐久性向上効果が消費エネルギーの割に低下するためである。

前述の図 4、図 5 などに対応する窒化されていない薄板ばねのサンプルで、全粒子平均径 37 μm 、硬さ Hv 865 の高炭素鋼粒子を 90 m/sec の速度で投射し、最終工程の 230°C の低温焼なましを省略したばねと、同じ加工工程で最終の低温焼なましを実施したばねに 160°C でへたり試験を実施した。その結果、最終の 230°C の低温焼なましを省略したばねのへたりは、それを実施したばねと同等であり、すぐれた耐へたり性であった。他方、0.3 mm 径のスチールショットを速度 100 m/sec で投射したばねサンプルでは、最終の低温焼きなましを施したほうが実施しないサンプルより良好な耐へたり性であった。

この原因是、前者では鋼中の炭化物の変形が後者よりも激しく起こり、これに助けられて分解した遊離炭素原子が比較的多く、この遊離炭素が 160°C のクリープ試験中の転位の移動阻止効果を有効に発揮したためと考えられる。ただし、上記の 230°C の低温焼きなまし有無の 2 種類のばねに室温で短時間のセッティングを同一応力条件で施すと、セッティングへたりは低温焼きなましを施さないばねのほうが、それを施したばねよりも大きかった。

のことから、微細硬質金属粒子投射だけでは、投射でばね表層に生成した転位の固着が不充分であることが分かる。また、前記の 160°C のへたり試験のへたりが、あらかじめ施す 230°C の低温焼きなましの有無にかかわらないのは、微細硬質金属粒子投射によって、0.3 mm 径の金属粒子投射よりもばね表層部の鉄炭化物、セメントタイトの変形と消滅が促進され、160°C に昇温された時に

分解した炭素原子による歪時効が短時間に進行することを意味している。ただし、粒子投射によるばね表層の瞬間的発熱による温度上昇は、同一投射速度であれば、投射粒子の直径にはほぼ反比例すると推定される。これは、同一粒子硬さ、同一ばね材質であれば、衝突によるばね表層の変形に要する時間は粒子径に比例するが、粒子径が小さくなると、変形に要する時間が短くなり、変形中の変形熱が変形領域の外へ逃散する時間が短くなる結果、変形領域の温度が上昇するからと考えられる（バウデン・ティバー著、曾田範宗訳、固体の摩擦と潤滑、第4版、丸善、昭和50年発行、256頁の説明と（8）式参照。ここでは衝突物体の接触時間は、（質量M／粒子半径r）の平方根、 $\sqrt{(M/r)}$ に比例するとの説明がある。これによると、 $\sqrt{(M/r)} \propto r$ であるので、結局接触時間はrに比例する。）。

本発明の微細粒子投射によるばね表層では、衝突、変形による発熱と炭素、窒素原子によるひずみ時効硬化が0.3mm径の粒子よりもよりよく進行しているものと考えられる。また、セメンタイトが変形されるのは、セメンタイトは温度が上昇するほど変形抵抗が小さくなる特性を持つことが一因と考えられる。なお、微細粒子投射速度が180m/sec程度では、セメンタイトが変形、一部消滅するとともに、分断が促進される。セメンタイト分断は変形により生成、移動する鉄中の転位運動阻止効果を小さくするので、投射速度とともに表面残留応力が低下する一因となると考えられる。なお、本発明で使用される投射微細粒子の平均粒径に対して、その寸法ばらつきが大きくなつて、より寸法の大きな粒子の比率が高まると、耐久性向上効果が小さくなる。このため、最大粒子平均径は、実質、100μm未満、また、望ましくは80μm以下とする必要がある。

本発明の微細粒子投射によるその他の作用効果として、微細粒子投射によるばね変形の減少を実現でき、この結果として、大量生産でばねの寸法ばらつきの発生を小さく出来ることが判明した。この理由は、本発明の微細粒子投射の影響層が比較的薄く、これがばねの大変形を抑制すること、及び微細粒子投射時に本発明では比較的低速の粒子衝突によつているため、より高速投射に比べて投射速度ばらつきが小さくできることが推定できる（図6）。

このように処理した高炭素鋼製ばねの表面層を透過電子顕微鏡によって観察すると、表面の変形による変形帯のなかに非常に微細かつ湾曲を伴う微細組織（サブグレイン）の発達と、セメンタイト析出物の一部の分断とその間隔の微細化及

び鉄中の転位増加が認められるが、本発明の最適投射速度で微細粒子を投射した場合、セメンタイト分断は殆ど起こらない。また、回復再結晶による明瞭な微細組織(ポリゴン化組織)はまったく観察されなかつた。また、マルテンサイトやベイナイトという過冷却組織も認められなかつた。

なお、比較的線径又は板厚の大きなばね、具体的には線ばねでは1.5ないし2.0 mm以上の線径では多段ショットピーニングによってその表層のかなり内部まで圧縮残留応力を付与することが有効であり、自動車等の内燃機関用弁ばねのような用途で広く実施されている。本願発明でも請求項4の(A)にあるように0.2~0.9 mm径の粒子を速度40~90 m/secで投射するのは、比較的内部まで圧縮残留応力を付与して非金属介在物からの疲労折損を防止するためである。ただし、線径が2.0ないし2.5 mmよりも大きいばねでは、0.5~0.9 mm径の粒子投射後、0.2~0.4 mm径の粒子投射で(請求項7)、比較的表層の残留応力を高めて内部と表面近傍からの亀裂発生をある程度防止することが出来る。このような0.2~0.9 mm径の粒子投射後には表面の圧縮残留応力はまだ不十分であり、これを本願発明の微細粒子投射によって疲労破壊に有害な微細亀裂などの欠陥を生ずることなく高める。他方、それより小さな線径又は板厚のばねでは、窒化なしの状態で、本発明の方法である微細金属粒子投射による疲労強度向上を図ることも本発明(請求項3)の処理方法に含まれる。

このような比較的寸法の大きな粒子投射の欠点を克服するために、本発明(請求項4)では、上記の比較的大きな寸法の粒子投射後に、径10~100 μm未満、全粒子平均径20~80 μm、球形またはそれに近い角張りのない比重7.0~9.0、硬さHv350~1100の硬質金属微粒子を速度50~160 m/secで十分に投射することによって表層に疲労強度に有害な微小亀裂や大きな凹みなどを起こすことなく、均一に強加工層を形成し高い圧縮残留応力を付与する。

本発明における10~100 μm未満又は好ましくは10~80 μmの粒子投射のカバレッジは、目標とするばねの耐久性改善が必要な部位に対して、100%以上とすることが望ましく、上記の十分に投射するの意味はこれに該当する。

0.2~0.9 mm径の粒子の初期硬さ下限をHv350としたのは粒子衝突の繰返しによってばね表面よりも硬さの低い粒子は変形が繰返されて次第に加工硬化して、その硬さが上昇する。また、硬さが低くてもHv350以上であれば、

衝突のエネルギーの一部はばね表層の変形に使われるので、ここでは、Hv350を下限とした。

このように、前記の窒化したばねよりも表層硬さが低い窒化をしないばねにおいても、窒化したばねと類似の条件で良い結果が得られることが判明した。

なお、本願発明の投射粒子の初期硬さとは、新品での値であり、請求項の硬さ、その他の値は新品のそれである。本願発明において、投射する粒子は繰返し使用によって次第に磨耗・摩滅するので、実際には上記新品の寸法よりも小さい粒子が使用されることになり、使用中に破壊によって鋭い角張った辺を有する粒子に変化しないことが必要である。また、本発明のばねの製造工程において冷間成形したばねの250～500°C程度の温度での残留応力除去のための低温焼鈍実施、コイルばね成形後又はコイルばね成形後の残留応力除去焼鈍後、又は窒化後などの座面研磨、微細粒子投射後又はその前工程の0.2～0.9mm径粒子投射後の耐へたり性改善のための200～250°C程度の温度に加熱しての低温焼鈍、同目的の温間又は冷間のセッティング、などの工程は本発明のばね製造に含まれる。

本願特許の硬質金属粒子投射の効果は、ばね表層に疲労破壊に有害な微小亀裂生成又は過大な塑性加工によるばね表層の延靱性劣化を起こすことなく、高い圧縮残留応力を付与することによって、疲労破壊の原因となるばね表面及び表層近傍内部の欠陥部からの微細亀裂の伝播を防止して、疲労耐久性を向上させることである。本願発明の硬質微細粒子投射は、ばね表層に疲労に有害な損傷を与えることなく、ばねごく表層の金属組織の加工変形による加工硬化を実現し、その結果として極めて高い圧縮残留応力を付与する。この微粒子投射による瞬間的発熱と高圧によって、ばね鋼中Fe₃Cの強変形と一部分解による消滅によって発生する固溶C原子による転位固着と転位増殖が促進される。窒化されたばね表層には固溶窒素が微粒子投射時の瞬間的変形と発熱によって、上述のC原子同様、転位の固着と増殖を起こす。これらによって、ばね表層のセル構造の微細化と加工硬化が特に促進される。これらの様相は数万倍の透過電子顕微鏡写真によって明確となった。表層の大きな加工硬化は、表層の弾性限を向上させ、その結果、弾性限内に留まる残留応力向上に寄与すると考えられる。最高の効果が発揮できるのは、微細粒子投射によるばねへの衝突速度が60ないし140m/secであり、これよりも高速では、効果はあるものの、特に窒化ばねについては衝突速度とと

もに次第に加工による残留応力が小さくなるとともに、微細な亀裂や加工による材質の脆化が現れ、その結果、疲労強度向上効果も小さくなる。窒化処理されたばねに対して速度 190 m/sec 、また、さらに厳密には、 170 m/sec を超えると特にそれらの損傷が顕著になり、窒化されないばねでは、 160 m/sec を超えると、効果はあるものの、最適条件から大きく外れる。また、投射による衝突速度が 60 m/sec 又は 50 m/sec よりも低下すると、衝突の影響で加工される深さが小さくなり、残留応力も低くなる。このため、疲労強度向上効果はあるものの、最適条件からは明らかに劣るようになる。

図面の簡単な説明

図 1 窒化後 0.6 mm 径の鋼製粒子を投射し、さらに鋼製微細粒子（新品平均径 $63 \mu\text{m}$ ）を投射したハイテンばね表面の圧縮残留応力と投射速度の関係曲線図。

図 2 図 1と同じ 0.6 mm 粒子投射後の窒化ばねへの平均 $63 \mu\text{m}$ 径高速度鋼微細粒子投射速度 90 m/sec と 190 m/sec の場合の圧縮残留応力曲線

図 3 図 1と同じ窒化、 0.6 mm 粒子投射をされた高強度ばねへの第二段粒子投射による圧縮残留応力と投射粒子径の関係曲線図。

図 4 呼称径 $50 \mu\text{m}$ の 2 種類の鋼製粒子投射によるばねへの衝突速度が、投射後のばねの疲労限振幅応力に及ぼす効果を示す図。この図は図 5 のデータの一部を抽出して再整理したものである。

図 5 ばね鋼薄板ばねに対して硬質金属粒子投射の影響を調査した結果で、材質が高炭素鋼及び高速度鋼である投射粒子の平均直径と粒子投射後の疲労限振幅応力（平均応力、 786 N/mm^2 で一定）の関係を示す。図中の数字は粒子の衝突速度である。

図 6 硬質金属粒子投射による薄板ばねの高さの減少を測定した結果を示す。この図は、図 4、5 のデータと同じ試験における測定から取ったものである。プロット点に添えた数字は呼称粒子径を示す。

図 7 4.0 mm 径ピアノ線で製造した弁ばねの表層部の X 線による鉄地残留応力分布曲線。

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施形態につき説明する。

(実施形態 1)

窒化によって弁ばね、クラッチばね等の耐久性、特に耐疲労強度を向上させるため、次のような工程が従来より採用されている。

ばね用合金鋼オイルテンパー線（以下OT線という）→ばね成型（冷間コイリング）→残留応力除去焼鈍→座面研磨→表面スケール除去→窒化処理→ショットピーニング→低温焼鈍

ここで、窒化後のショットピーニングとして、通常、一段ショットの場合は粒径0.5～0.9mm程度のHv500～800の鋼球、又はカットワイヤ等の多数の硬質金属粒子を投射する。また二段ショットの場合は、粒径0.5～0.9mm程度の多数の鋼球のショット後に、粒径0.2～0.4mm程度の多数の金属粒子を投射する。

本願発明では、窒化後のショットピーニングの方法を提供し、これらの第一段後または第一段と引続く第二段後に全粒子平均径80μm以下かつ20μm以上、個々の粒子平均径10μm以上100μm未満、形状として球形またはそれに近い角張った個所のない、比重7.0～9.0、硬さHv600以上Hv1100以下かつ窒化後または浸炭窒化後のはね表面硬さと同等以下の硬さを有する金属粒子を速度5.0～19.0m/secで投射し、ばね表層の加工硬化と微細亀裂生成防止を効果的に行い、最表面層に高い残留応力と硬さを付与する。

さらに、これらの工程の後、低温焼鈍によってショットの影響層（表層150～200μm）における転位固定を確実にすることによって、耐疲労性及び耐へたり性において、従来の方法のみによっては得ることができなかつた非常に良好な耐久性を有するばねを得ることができた。

また、窒化前のスケール除去（デスケール）方法には、酸洗、電解研磨、金属粒子投射などがあるが、本願発明では、窒化前のデスケール処理方法を請求項2において提供する。この方法は微細な鉄系などの粒子投射によって窒化後に高い疲労耐久性を得ようとするものである。

実施形態1のはねの製造と性能について以下に記す。

請求項 2 の方法によって、窒化前のデスケール、その後、窒化処理と引続く粒子投射を施して、請求項 8 に該当する高性能ばねを製造することが出来る。

C : 0.59%, Si : 1.90%, Mn : 0.84%, Ni : 0.27%, Cr : 0.96%, V : 0.09% (単位はいずれも重量%) を含有する 3.2mm 径の高強度弁ばね用オイルテンバー線 (請求項 8 の②の材料) を用いて、冷間コイリング、420°C 応力除去焼鈍、座面研磨の後、デスケール処理として全粒子平均径 37 μm、各粒子の平均径が 75 ~ 10 μm、各粒子の最大 / 最小径比 1.2 以下で角張っていない、比重 7.5、硬さ HV 865 の粒子を速度 107 m/sec で投射し、ついで、窒化して表層 (深さ 3 ~ 5 μm 位置) の硬さ HV 910 を得た。さらに、0.6mm 径、硬さ HV 550 のラウンドカットワイヤを速度 70 m/sec で十分に投射して比較的内部まで圧縮残留応力を付与した。この時の表層硬さは HV 930 であった。これに引き続き、全粒子の平均径が 37 μm、個々の粒子のうち、最大粒子の平均径が 75 μm 以下、個々の粒子最小径がほぼ 10 μm、長短径比 1.2 以下で角張っていないほぼ球状の、比重 7.6、平均硬さ HV 865 の高炭素鋼粒子を平均速度 107 m/sec で十分に投射した。その後、220°C で低温焼鈍を実施した。この時の表面硬さは HV 975 であった。

この時のばね最表層の圧縮残留応力は 2010 MPa となった。また、このときの表面から 0.2 mm 深さ位置及び 0.5 mm 深さ位置でのばねの硬さは、それぞれ HV 570 及び HV 545 であった。また、鋼中の非金属介在物は 15 μm 以下、炭窒化物は 1.0 μm より小さかった。窒化のままでのこのばねの最表面の硬さは HV 910 であり、投射した 0.6 mm 径の炭素鋼粒子の硬さは HV 550、高炭素鋼微細粒子の平均初期硬さは HV 865、使用済みの同粒子の平均硬さは HV 960 であった。このばねを平均応力 : 686 MPa で振幅応力を変化させて一定振幅応力下で 1000 回 / min. の速度で疲労試験した。その結果、 5×10^7 回で、疲労限度は振幅応力で ±677 MPa 以上となり、n = 6 個のいずれのばねでも折損しなかった。このばねは本請求項 8 に、また、その製造方法は請求項 1 および 2 に該当する。

次に、デスケール処理として、まず 0.6 mm 径、硬さ HV 550 のカットワイヤを速度 70 m/sec でばねに投射後、全粒子平均径 37 μm の高炭素鋼粒子を速度 107 m/sec で投射してから窒化以降の工程を上記の実施形態 1 の

ばねと同じとしたばねで上記と同様の疲労耐久性を確保できた。なお、この時、デスケール方法として硬さ H V 550 の 0.6 mm カットワイヤのみの投射では、窒化後に本発明の二段投射を施しても、 $N = 5 \times 10^7$ 回における疲労限は 686 MPa \pm 647 MPa となった。弁ばね用コイルバネの疲労強度は、応力繰返し数 N をある一定値に決めるとき、平均応力 τ_m と振幅応力 τ_a によって表現できる。ここでは、 $N = 5 \times 10^7$ 回に決める。従来技術では、 $\tau_m = 686$ MPa の場合、 τ_a として 610 ~ 620 MPa 程度の値が達成されていた。しかし、本発明のように $\tau_m = 686$ MPa で $\tau_a \geq 677$ MPa のような高い疲労強度は従来、達成されていなかった。同じ品質、形状のばねの場合、平均応力 τ_m が大きくなると、疲労限の応力振幅 τ_a は小さくなることは従来から知られている。 τ_m の x MPa 増加に対し、疲労限の τ_a は近似的に $x/5$ 低下することが判明している。そのため、疲労限 $\tau_m \pm \tau_a$ は、(定数 1 - x) \pm (定数 2 + x/5) で表示できる。今、定数 1 として 800 MPa を取ると、疲労限は $(800 - x) \pm (定数 2 + x/5)$ と表現できる。上記の疲労限 686 MPa \pm 647 MPa をこの式にあてはめると、定数 2 は 624.2 MPa となる。そこで、本発明では、疲労限応力として、請求項 8 に記載のように、次の(1)式を満足するばねを請求項に含める。

$$\text{すなわち、 } \tau_m = 800 - x \text{ の時、 } \tau_a \geq 620 + x/5 \dots (1)$$

ここで、単位：いずれも MPa、x：変数で 0 以上 150 以下

上記の、窒化前に 0.6 mm 径の鉄系粒子投射によってデスケールしたばねは、かろうじて(1)式を満足できたが、平均応力 686 MPa、振幅応力 \pm 677 MPa という高い応力繰返しで、ばね端末部で線間接触を生じて疲労破壊を生ずることが散発した。しかし、デスケール法として 0.6 mm 径の粒子投射に続いて本発明の SS 处理を十分に施すと、このような線間接触部の疲労破壊が改善できたので、このような SS 处理を含む二段ショットによるデスケールも本発明に含まれる。

・実施形態 1 の比較ばね①と②

なお、上記のばねで、第二段の微細粒投射を省略した比較ばね①は、平均応力：686 MPa で疲労限度の振幅応力は \pm 510 MPa となり、請求項 8 の疲労強度を満たさない。また、第二段のみを変化させ、全粒子平均径約 7.2 μm 、

最大粒子平均径約 $200\mu\text{m}$ 、最小粒子径約 $7\mu\text{m}$ の鋼粒子を空気圧 0.5 MPa で投射（平均径 $72\mu\text{m}$ 粒子の衝突速度は約 130 m/sec ）した比較ばね②を試作した。このばねの疲労限応力は平均応力が上記実施形態1のばねと同じで、振幅応力は± 530 MPa となり、効果は少しあ認められるが請求項8を満足しない。

なお、前記実験は窒化後に 0.6 mm 径、硬さHv 550 の鋼粒子を投射してからSS処理をしたが、とりわけ線径や板厚が $1.5\sim2\text{ mm}$ 以下のワークについて、このような事前投射をしても利点は少なく、むしろ窒化後直ちにSS処理を行った方が、耐疲労性をはじめとする性能面やコスト面で有利であり、実質本願発明に含まれる。

（実施形態2）

窒化をしないばねに関する本発明は平均径 $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 未満、比重 $7.0\sim9.0$ 、硬さHv $350\sim1100$ の多数の硬質金属粒子を投射してばねの表面粗さを極力低く押さえつつ、かつ、局所的過大変形（局所的せん断変形帯、断熱変形帯ともいう）を発生せずに、ばね極表層に比較的均一に強加工層を発生させるとともに極力高い残留応力を付与することによって、窒化を施さなくともばね表面層からの疲労折損を防止することを狙ったばねの加工方法である。

ばねの表面に硬さHv $350\sim1100$ 、比重 $7.0\sim9.0$ 、平均粒径 $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 未満、望ましくは $10\sim80\mu\text{m}$ の硬質金属粒子を速度 50 m/sec 以上、 160 m/sec 以下、望ましくは $60\text{ m/sec}\sim140\text{ m/sec}$ で投射することによって、表層近傍に耐久性に有害な微小亀裂や不均一せん断変形帯を発生することなく、極表層の圧縮残留応力を高めて、表層からのはねの疲労折損を防止する。これによって、細径ピアノ線や細径オイルテンバー線から製造した小物ばねや各種薄板ばねの疲労強度、耐久性を向上させる。

本発明では投射速度の影響を詳しく調査研究して、従来、微粒子投射速度vを 100 m/sec 以上に規定した特公平2-17607号「金属成形の表面加工熱処理方法」のように、A3変態点を超えることなく、また、速度 $V > 160\text{ m/sec}$ で投射して表面層の変形が過度になることなく、速度 $V \leq 160\text{ m/sec}$ 、望ましくは $60\text{ m/sec} \leq V \leq 140\text{ m/sec}$ で投射し、その瞬間的温度上昇を回復再結晶を起こすよりも低温度に制御するとともに表層の過度の変形を避けることによって、より高

い耐久性を得ることを特徴とする。

供試ばねとして、すでに記載したように断面形状が板厚0.97mm、板幅5.1mm、硬さHv537～589で、化学成分が0.55%C、1.47%Si、その他を含むバテンティング、伸線、冷間圧延されたばね鋼で、ばね加工工程が、ばね成形→応力除去焼鈍→微細粒子投射→低温焼きなまし(230°C)の順序で、ばね加工工程の微細粒子投射条件は①全粒子平均径37μm(新品)、硬さHv865、比重7.6の炭素鋼微細粒子、及び、②全粒子平均径63μm(新品)、硬さHv860、比重8.2の高速度鋼微細粒子を用いた。そして、種々の速度ではばねに上記微細粒子を十分に投射した。その後、ばねの疲労試験を行い、微細粒子投射速度と疲労強度の関係を求めた。その結果を図3に示す。このときの疲労限応力は平均応力が785MPaで、繰返し数10⁷回で破壊しない振幅応力を取っている。その結果、炭素鋼粒子、高速度鋼粒子とともに、衝突速度が60～140m/secでもっとも良好な疲労強度改善効果が得られることがわかった。②の高速度鋼粒子投射では、衝突速度Vが50m/secから140m/secで、疲労限振幅応力が700MPaを超えると考えられる。また、①の高炭素鋼粒子投射では、衝突速度Vが約60m/secから約160m/secで疲労限振幅応力が700MPaを超えると考えられ、非常に良好な改善効果が認められる。

上記の本発明の比較例として、ショットなしのばねでは、疲労限振幅応力は440MPaであり、疲労限は低い。また、0.3mm径スチールショットを速度V=100m/secで十分に投射したばねでは疲労限振幅応力は±300MPaであり(このサンプルは微粒子投射を0.3mm径のスチールショットに替え、それ以外の工程は実施形態2のばねと同じ)、粒子投射の効果は見出せない。

(実施形態3)

また、比較的断面寸法の大きい高強度ばね、例えば線径2mm以上の窒化しないばねには、本発明請求項4などに記載のごとく、微粒子投射処理の前処理として、0.2～0.9mm径の鋼系粒子をv=40～90m/secで投射して比較的内部まで圧縮残留応力を付与する。これによって圧縮残留応力は表面から数十μm以上入った場所で最高の値に達するが、極表面層は内部の最高値に比べて低い値になる。このため、このままでは、ばね表面近傍を起点とする疲労折損を十分に防止することが出来ない。この点を改善するために上記の0.2～0.9mm

径粒子投射後に、速度 $v = 50 \sim 160 \text{ m/sec}$ 、さらに望ましくは、 $v = 60 \sim 140 \text{ m/sec}$ で、粒径 10 から $100 \mu\text{m}$ 未満、さらに望ましくは粒径 $10 \sim 80 \mu\text{m}$ 、比重 $7.0 \sim 9.0$ 、硬さ $Hv 350 \sim 1100$ の硬質金属粒子を投射することが行われる。

・実施形態 3 のばね

線径 3.2 mm 、J I S、SWOSC-V よりも高い引張強さ 2070 MPa
 a、表層部の硬さ約 $Hv 620$ の高強度弁ばね用オイルテンバー線（化学成分
 $C : 0.61\%$, $Si : 1.46\%$, $Mn : 0.70\%$, $Ni : 0.25\%$,
 $Cr : 0.85\%$, $V : 0.06\%$, 単位はいずれも質量%、この材料は請求項
 8の成分鋼②に相当）を冷間でコイルばねに成形し、コイリングで生じた残留応
 力除去のための $400^\circ C \times 20$ 分の低温焼鈍、座面研磨、 0.6 mm 径比重約 7.8 、硬さ $Hv 550$ の鋼粒子の速度 70 m/sec での投射に引き続き、呼称粒径 $50 \mu\text{m}$ 、実測の新品全粒子平均径 $37 \mu\text{m}$ 、個々の粒子の最大／最小径比 1.2 以
 下で角張りがなく、比重約 7.5 、平均硬さ $Hv 865$ の鉄系粒子で、その各粒
 子の平均径が $10 \sim 75 \mu\text{m}$ に分布する粒子（ただし、 $n = 60$ 個の測定値）を
 衝突速度 107 m/sec で十分に投射した。さらに $220^\circ C$ で転位固着のための低
 温焼鈍を実施してから冷間セッティングで仕上げた。このようにして作製した実施
 形態 3 のばね最表面の X 線による鉄地の圧縮残留応力は 1350 MPa でばね内
 部に入るにつれてそれよりも残留応力は小さくなつた。同じくそのごく表層の硬
 さは $Hv 690$ 、表層から $0.2 \text{ mm} \sim 0.5 \text{ mm}$ 深さにおける硬さはばね内径
 側で $Hv 600 \sim 580$ であった。このばねの疲労試験を実施した結果、繰返し
 5×10^7 回の疲労限度は $n = 10$ 個の試験ばねで折損がなく、平均応力 588 MPa 、振幅応力 $\pm 510 \text{ MPa}$ となつた。このコイルばねにかかる平均応力を最大で 690 MPa と想定し、平均応力 $\tau_m = 690 - x$ と置くと、繰返し数
 $N = 5 \times 10^7$ 回における疲労限振幅応力 τ_a は、実施形態 1 で説明した τ_m と
 τ_a の換算の考え方により、 $\tau_a = 489.6 + x / 5$ と置ける。この式は、し
 かし、上記の一試験結果のみを数式化したものであるので、鋼線の引張強さ、鋼
 種、線径などを考慮して、

平均応力 $\tau_m = 690 - x$ のとき、

疲労限振幅応力 $\tau_a = \pm (470 + x / 5) \dots (2)$

とした。これから、上記実施形態3のばねは請求項9及び10の(2)式を満足することがわかる。この請求項9の本発明ばねは、ごく表層(最表層)の残留応力として1200 MPa～1600 MPaを有する場合が多く、1100～1700 MPaの範囲を本発明ばねとして定める。

・実施形態3の比較ばね③、④

上記の実施形態3のばねと同一ロットのオイルテンバー線で、これとほぼ同じ工程であるが、呼称 $50\text{ }\mu\text{m}$ 径の鉄系微粒子投射のみを省略した比較ばね③を作製した。このときの表層部の最大圧縮残留応力は表面から約 $40\text{ }\mu\text{m}$ 内部にはいった場所に発生し、その値はおよそ820 MPaであった。また、ごく表面の圧縮残留応力は630 MPaで、請求項9の要求値を満たさない。この疲労試験結果は、 5×10^7 回の疲労限が平均応力588 MPaで、振幅応力は±440 MPaであり請求項10記載の疲労限より低くなっている。また、第二段投射として、呼称 $100\text{ }\mu\text{m}$ 、実測全粒子平均径 $97\text{ }\mu\text{m}$ 、同最大粒子径 $130\text{ }\mu\text{m}$ 、同最小径約 $35\text{ }\mu\text{m}$ 、個々の粒子の最大／最小径比が1.2以下の高炭素鋼粒子を速度約85 m/secで投射し、その後、さらに実施形態3のばねと同じく、 220°C で低温焼鈍、冷間セッティングで仕上げた比較ばね④を作成した。その繰返し数 5×10^7 回における疲労試験結果は、平均応力588 MPaで振幅応力±461 MPaであり、請求項10を満足しない。

10から $100\text{ }\mu\text{m}$ 径未満の粒子を投射される前のばね表面の硬さと投射粒子の硬さの関係であるが、ばねが窒化されていない場合、窒化した場合よりばね表層は硬さが低く、そのため延性が高く、ばね表面硬さより硬さの高い鋼製の粒子投射でも、投射速度が 160 m/sec 以下であれば、微細亀裂などを生成し難い。他方、逆に投射粒子硬さがばね表面より低くても、表層改質効果は認められる。特に、 100 ないし 140 m/sec を超える比較的高速の投射で、被加工材ばねの硬さがHV550ないし600以上の高硬度の場合、被加工材と同等以下の硬さの微細粒子で投射しても、表面の凹凸が軽減され、しかも比較的内部まで残留応力が高い値で入る。また、投射粒子の硬さが低いと繰り返しの投射で被加工材ばねよりも、投射粒子自身に加工硬化が顕著に起こるが、粒子の新品硬さがHV350を下回ると被加工材ばねの表層改質効果の効率が下がるので、請求項3、4、5において下限硬さをHV350とした。また、炭素鋼や合金鋼製の微細投

射粒子は比較的安価に入手でき、経済的であり、その硬さはHv 1100以下であり、このような経済性及び耐久性に有害なばねの表面粗さの増大や表層の微細亀裂を避ける意味で新品の微細粒子の上限硬さはHv 1100とした。

(実施形態4)

微細バーライトを主とする伸線で加工強化した鋼線より製造したばねに、窒化処理をせずに、比較的大きな寸法の通常のショットビーニングを施したのち、呼称径 $50\text{ }\mu\text{m}$ 径の微細粒子投射をする方法で製造した請求項11該当のばねについて以下に述べる。直径 4.0 mm 、引張強さ、 $\sigma_B = 1,735\text{ MPa}$ 、平均硬さHvで約450のピアノ線を用いて自動車内燃機関用弁ばねを試作した。冷間でピアノ線をばねにコイリング後、 350°C で15分間の応力除去焼きなましを施し、コイル内側表面の引張残留応力を除去してから座面研磨を施した。これに直径 0.6 mm 、硬さHv 550のカットワイヤを十分に投射した後 220°C で低温焼鈍を施した。さらに引続いて全粒子平均径 $37\text{ }\mu\text{m}$ 、最大粒子径約 $75\text{ }\mu\text{m}$ 、比重約7.6、硬さHv 865、粒子の最大／最小径比1.2以下で角張らない形状の高炭素鋼粒子を速度 107 m/sec で十分に投射した。引続きこれに 220°C の低温焼鈍を施し、さらに冷間セッティングを施した。このばねの最表層圧縮残留応力は 590 MPa であった(図7)。

この時の比較ばね⑤として、上記実施形態4のばねの $50\text{ }\mu\text{m}$ 径の微粒子投射のみ省略したばね(それ以外は同じ材料と工程)を作成した。その最表層の圧縮残留応力は 430 MPa (図7)で請求項11の要件である 550 MPa 以上を満たさない。また、もう一つの比較ばね⑥として上記本発明ばねの第二段投射に代えて、比較例2の第二段投射と同一条件で呼称 $100\text{ }\mu\text{m}$ の粒子を投射した。

このようにして試作した本発明の実施形態5の弁ばねと比較ばねの疲労試験を実施した。試験は $1000\text{ 回}/\text{分}$ の速度で、各応力水準ごとに $n = 15$ 個のばねを試験した。その結果は下記のように本発明実施形態4のばねの比較ばねに対する改善効果が明瞭であった。前者は請求項11の(3)式を満たすが、比較ばね⑤と⑥はそれを満たさない。

疲労強度 実施形態4の本発明ばね 疲労限 $\tau_a \geq 461\text{ MPa}$

比較ばね⑤ 疲労限 $\tau_a = 373\text{ MPa}$

同 ⑥ 疲労限 $\tau_a = 402\text{ MPa}$

(いずれも、平均応力 $\tau_m = 588 \text{ MPa}$ 、繰返し数： 5×10^7 回)

ここで、このコイルばねにかける最大平均応力を 690 MPa と想定して、前記(1)式、(2)のところで説明したように、平均応力と振幅応力の互換性を考慮すると、平均応力 $\tau_m = 690 - x$ に対し、上記実施形態4のばねの疲労限振幅応力 τ_a は、 $\tau_a \geq 440.6 + x/5$ と表現できる。線径、線の引張強さ、鋼種などを勘案して、本発明では、下記(3)式を満たすばねを本発明のばねとし、ごく表層の圧縮残留応力を 550 MPa 以上とする(請求項11)。

平均応力 $\tau_m = 690 - x$ のとき、

繰返し数 5×10^7 回における疲労限振幅応力 $\tau_a \geq 422 + x/5 \dots (3)$

ここで、 $x : 0 \sim 140$

これらのはね(比較例は⑤のみ)の残留応力分布を示す図7より、最表面から深さ $50 \mu\text{m}$ までの表層部の残留応力がSS処理によって大きく改善されたことがわかる。また、これらのはねの表面粗さ R_{max} は 0.6 mm 粒子投射のままで $13.2 \mu\text{m}$ 、 0.6 mm 粒子投射後全粒子平均径 $37 \mu\text{m}$ 投射後の本発明によるばねでは $9.2 \mu\text{m}$ であった。

上記の試験で、実施形態4のばねの疲労試験応力が高い場合、ばねのへたりがやや大きくなつた。このへたり防止のため、ピアノ線に代えてケイ素及び/またはクロムなどの耐へたり性を富ます元素を添加したパーライト組織冷間伸線タイプの鋼線を使用することやホットセッティングの実施が対策として考えられ、本発明にこれらも含まれる。

(実施形態5)

3. 2mm径のJIS SWOSC-V、弁ばね用オイルテンパー線を用いて弁ばねを試作した。この弁ばねは、窒化処理せずにSS処理を施して製造した。この弁ばねの製造工程は次のとおりである。すなわち、ばねコイリング、 $400^\circ\text{C} \cdot 20$ 分の低温焼鈍、 0.6 mm 径の鉄系ラウンドカットワイヤの速度 70 m/sec での投射、高炭素鋼微粒子SS処理(速度 107 m/sec 、全粒子平均径 $40 \mu\text{m}$ 、最大粒子平均径 $75 \mu\text{m}$)、さらに 220°C で 20 分の低温焼鈍、最後に冷間セッティングを施した。このばねのごく表層の圧縮残留応力は 1010 MPa であった。このばねの疲労試験を実施したところ、平均応力 $\tau_m = 588 \text{ MPa}$ 、繰返し数 $N = 5 \times 10^7$ 回での疲労限振幅応力は 466 MPa

となつた。この応力は、平均応力を $690 - x$ と置くと、振幅応力 τ_a は $\tau_a = 445.6 + x / 5$ と表現できる。SWOSC-V オイルテンバー線の引張強さばらつき、線径範囲、などを考慮して本発明では、ごく表層の鉄地の圧縮残留応力を 900 MPa 以上とし、次の(4)式のようにばねの疲労強度を定める(請求項11)。

平均応力 $\tau_m = 690 - x$ 、繰返し応力 τ_a として、 5×10^7 回における疲労限応力が、

$$\tau_a \geq 440 + x / 5 \quad \dots \quad (4)$$

本願請求項10の(2)式、請求項11の(3)式、請求項12の(4)式は、いずれも、平均応力が $x \text{ MPa}$ だけ減ずると、疲労限振幅応力が $(x / 5) \text{ MPa}$ 増加することを意味する。これらの式は、各請求項にある工程と材料を必須とする試作ばねの疲労試験結果を考慮して導かれたものであり、既述のようにストレスピーニング処理によらない従来技術によるばねに比べて最表層残留応力または疲労強度は優位にある。前述のように、応力負荷の状態(ストレスピーニング)で本発明の微細粒ショットを施せば、さらに疲労強度と残留応力の改善が可能である。

以上の説明から分かるように、

①窒化処理を施してコイルばねの疲労強度を高める方法は弁ばねのように圧縮コイルばねでは効果的であるが、原価が高い問題がある。本発明は窒化の場合のように大掛かりな設備を要せず、比較的安価に耐久性を向上することが可能な表面処理法とばねを提供する。

②窒化による耐久性向上が実質的に不可能な炭素鋼ばね、例えばピアノ線、硬鋼線、炭素鋼オイルテンバー線や炭素鋼薄板などで製造したばねに対して、大幅な耐久性向上が可能である。

③引張応力が高く作用する薄板ばねや引張応力下で使用するばねでは、窒化ばねは疲労強度が安定しないで逆に疲労強度を損なう場合もあるという問題を抱えていた。

本発明では、ばね表層にもっとも的確に微細粒子を投射して、効率良く強加工をすることが可能であり、これによって、引張又は曲げ応力下で使用するばねや引張ばねなどの耐久性を大幅に向上するので、ばねの軽量小型化に寄与する。

④本発明の微細粒子投射の速度が小さくなると、むやみに高速で投射した場合より粒子投射によるばねの変形量が小さくなり、ばねの寸法ばらつきが小さくなる。このため、製造したばねの品質の安定性に寄与する。

請求の範囲

1. (A) ばねの表層を窒化処理する工程と、
(B) 窒化処理されたばねの表面へ、窒化された最表層硬さ（最表面から $5 \mu\text{m}$ 程度の深さ位置でのマイクロビックカース硬さ）よりも軟らかく、かつ、硬さ $\text{Hv} 500 \sim 800$ 、粒径 $200 \sim 900 \mu\text{m}$ の硬質金属粒子を $40 \text{m/sec} \sim 90 \text{m/sec}$ で投射し、投射（ショットピーニング）による表層の微細亀裂発生を防止し、圧縮残留応力を比較的ばねの内部にまで付与する工程と、
(C) 前記 (B) 工程の後のばね表面へ、全粒子の平均径が $80 \mu\text{m}$ 以下、かつ、個々の粒子がそれぞれ平均径 $10 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 未満、形状として球形又は球に近い角張った個所のない、比重 $7.0 \sim 9.0$ 、硬さ $\text{Hv} 600$ 以上 $\text{Hv} 1100$ 以下、かつ、窒化後又は低温浸炭窒化後のばねの最表層硬さ（最表面から $5 \mu\text{m}$ 程度の深さ位置でのマイクロビックカース硬さ）と同等以下の硬さを有する多数の微細金属粒子を速度 $50 \sim 190 \text{ m/sec}$ で投射し、かつ、衝突によるばね表面窒化層の鉄地（窒素化合物層を除外）の瞬間的昇温限界を、ばね表面層の加工硬化を起こさせるが、回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射することによって、表面層の加工硬化と微細亀裂発生防止を有効に行い高い圧縮残留応力と硬さを付与する工程とを有することを特徴とするばねの表面処理方法。
2. (A) 窒化前のばね表面へ、直径 $10 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 未満かつ全粒子平均径 $80 \mu\text{m}$ 以下、さらに望ましくは全粒子平均径 $65 \mu\text{m}$ 以下、個々の粒子平均径 $10 \sim 80 \mu\text{m}$ の多数の球状又はそれに近い角張る個所のない比重 $7.0 \sim 9.0$ 、硬さ $\text{Hv} 350 \sim 900$ の鉄系などの金属粒子を 50m/sec 以上 160 m/sec 以下の衝突速度であって、かつ、衝突によるばね表面の昇温限界をばねの鉄地の加工硬化を起こさせるが回復再結晶を起こせるよりも低温に制御し、かつ、微細亀裂などを生じないように投射する工程と、
(B) 前記 (A) 工程後のばねの表層を窒化処理する工程と、
(C) 窒化処理されたばねの表面へ、窒化された最表層硬さ（最表面から $5 \mu\text{m}$

程度の深さ位置でのマイクロピッカース硬さ)よりも軟らかく、かつ、硬さHv 500~800、粒径200~900μmの硬質金属粒子を40m/sec~90m/secで投射し、投射(ショットピーニング)による表層の微細亀裂発生を防止し、圧縮残留応力を比較的ばねの内部にまで付与する工程と、

(D) 前記(C)工程の後のばね表面へ、全粒子の平均径が80μm以下、かつ、個々の粒子がそれぞれ平均径10μm以上100μm未満、形状として球形又は球に近い角張った個所のない、比重7.0~9.0、硬さHv600以上Hv1100以下、かつ、窒化後又は低温浸炭窒化後のばねの最表層硬さ(最表面から5μm程度の深さ位置でのマイクロピッカース硬さ)と同等以下の硬さを有する多数の微細金属粒子を速度50~190m/secで投射し、かつ、衝突によるばね表面窒化層の鉄地(窒素化合物層を除外)の瞬間的昇温限界を、ばね表面層の加工硬化を起こさせるが、回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御しつつ投射することによって、表面層の加工硬化と微細亀裂発生防止を有効に行い高い圧縮残留応力と硬さを付与する工程とを有することを特徴とするばねの表面処理方法。

3. 表層の硬さHv400~750にある、冷間成形された後、巨視的残留応力を除去のための低温焼鈍を施されたばね、冷間成形後、焼入焼戻しされたばね又は熱間成形後調質されたばねなどのばねの表面に、硬さHv350以上1100以下、比重7.0から9.0、全投射粒子の平均径が80μm以下で、個々の粒子それぞれの平均粒径10μm以上100μm未満、個々の粒子の形状が球形またはそれに近い形状で角張った個所のない硬質金属粒子を、衝突速度50m/sec~160m/secであって、かつ、衝突によるばね表面層の昇温限界を、ばね表層の加工硬化を起こさせるが、ばね表層の回復再結晶による軟化が起こるよりは低温に制御し、かつ、表層に疲労強度を阻害する微小な割れなどを生成しないように投射し、表面から30μmないし50μm以下の表層部の硬さと圧縮残留応力を向上させることによってばねの耐久性改善を図る表面処理方法。

4. 成形して調質された、表層の硬さHv400~750であるばねの表面へ、
(A) 硬さHv350~900であって、粒径200~900μmの硬質金属粒

子を速度 40 m/sec ~ 90 m/sec で投射し、これにより表層の有害な微細亀裂の発生を防止しつつ圧縮残留応力をばねの比較的内部まで付与する工程と、

(B) 前記 (A) 工程の後のばね表面へ上記請求項 3 記載の表面処理方法を施す工程、を有することを特徴とする表層に疲労強度を阻害する有害な微小亀裂などを生成せず、表面から 30 ないし 50 μm 以下の表層部の硬さと圧縮残留応力を特に向上させるばねの耐久性改善を図る表面処理方法。

5. 請求項 1 又は 2 記載のばねの表面処理方法における全粒子平均径が 80 μm 以下、個々の粒子平均径が 10 μm 以上 100 μm 未満の粒子とその投射条件を次のように限定したことを特徴とする方法。

投射粒子硬さ：初期（新品）の硬さ HV 600 ~ 1100

投射粒子寸法：初期（新品）の個々の粒子平均寸法 10 μm ~ 80 μm

全粒子平均径：65 μm 以下

投射粒子の比重：7.0 ~ 9.0

ばねへの衝突速度：60 m/sec ~ 140 m/sec

6. 請求項 3 又は 4 記載のばねの表面処理方法における全粒子平均径が 80 μm 以下、個々の粒子平均径が 10 μm 以上 100 μm 未満の粒子とその投射条件を次のように限定したことを特徴とする方法。

投射粒子硬さ：初期（新品）の硬さ HV 350 ~ 1100

投射粒子寸法：初期（新品）の個々の粒子平均寸法 10 μm ~ 80 μm

全粒子平均径：65 μm 以下

投射粒子の比重：7.0 ~ 9.0

ばねへの衝突速度：60 m/sec ~ 140 m/sec

7. 上記請求項 1 の (B) の工程又は請求項 4 の (A) の工程において、0.2 から 0.9 mm 径の硬質金属粒子の投射を比較的寸法の大きな 0.5 ~ 0.9 mm 径の粒子の第一段投射と比較的寸法の小さい 0.2 ~ 0.4 mm 径の第二段投射に分けて実施することを特徴とするばねの表面処理方法。

8. 円形断面線又は異形断面線から製造したばねで、請求項1の工程を必須工程とし、製造した下記①から④のいずれかの化学成分鋼のコイルばねで、そのごく表層のX線による鉄の圧縮残留応力が1700 MPaより大、かつ、ばねの疲労折損の原因となる硬質の非金属介在物、炭化物、炭窒化物及び窒化物などの寸法と母地の硬さが、下記本請求項のX又はYを満足し、繰返し数 5×10^7 における疲労強度が下記(1)式を満足する高耐疲労強度ばね。

すなわち、繰返し応力が $\tau_m \pm \tau_a$ であって、 $\tau_m = 800 - x$ の時、

$$\tau_a \geq (620 + x/5) \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここで、 τ_m ：平均応力、

τ_a ：振幅応力、

x：変数で0以上かつ150以下

単位：いずれもMPa

X：ばね中に存在する有害な非金属介在物、炭化物などの寸法が $20 \mu m$ 未満ないし $15 \mu m$ 以下の時、ばね表面から $0.2 mm$ 以上 $0.5 mm$ までの深さ位置での母地の硬さをHV520以上580以下に制御する。

Y：ばね中の有害な非金属介在物、炭化物などの寸法を $10 \mu m$ 以下に制御できた時、ばね表面から $0.2 mm$ 以上 $0.5 mm$ までの深さ位置での母地の硬さをHV520以上630以下に制御する。

ここで、成分鋼①～④は次のとおりである。

①C: 0.50～0.80%, Si: 1.20～2.5%, Mn: ≤1.20, Cr: ≤1.80を必須成分とし残部鉄及び不純物からなるばね、及びこれにV: 0.03～0.60%及び／又はNb: 0.02～0.20%の1種又は2種を添加したばね。

②上記①に加えて、Ni: 0.5%以下及び／又はCo: 3.0%以下の1種以上を含有するばね。

③上記①又は②の成分に加えて、W: 0.5%以下及び／又はMo: 0.6%以下及び／又はAl: 0.5%以下を添加したばね。

④C: 0.05以下、Si: 0.8以下、Mn: 0.8以下、Ni: 1.6～2.6, Ti: 0.2～1.6, Al: 0.4%以下、Co: 8.5以下、Mo: 5.5以下、Nb: 0.6以下、(上記に加え0.1以下のB, Zr, 及び／又はC

aを加えててもよい)、残部不可避不純物と鉄からなる材料からなるばね。
(化学組成の単位: いずれも質量%)

9. 請求項8の成分鋼①から③のいずれかの材料に焼入れ焼戻しを施して、線径に応じて、JIS弁ばね用オイルテンバー線SWOSC-Vよりも引張強さが高くなるように調質した後、ばね成形を施し、さらに残留応力除去の目的で低温焼鈍を施すか、又は、ばね成形後焼入れ焼戻しを施してその引張り強さ又は硬さがJIS弁ばね用オイルテンバー線SWOSC-Vよりも高くなるように調質した後、又は、請求項8の成分鋼④の材料から製造したばねで、この材料に溶体化処理を施し、その後さらに冷間伸線又は圧延を施してからばね成形し、引き継ぎ時効処理してその引張り強さを1900 MPa以上となるように調質した後、請求項4の工程に従って製造したばねで、その表層近傍の残留応力を1100 MPaを超える1700 MPa以下、表面硬さがHV600以上かつHV800以下、表面から0.2 mm～0.5 mmの深さ位置における硬さHV580～630の時、非金属介在物寸法を10 μm以下／表面から0.2 mm～0.5 mmの深さ位置における硬さをHV520以上かつHV580より小とする時、非金属介在物寸法を15 μm以下ないし20 μm未満としたことを特徴とする疲労強度の優れた鋼製ばね。

10. 上記の請求項9記載のばねで、その疲労限が次の式を満足するばね。

繰返し応力 $\tau_m \pm \tau_a$, 繰返し数: 5×10^7 として、

$$\tau_m = 690 - x \text{ のとき, } \tau_a \geq 470 + x / 5 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、x: 0～183、単位: MPa

11. 冷間伸線又は温間伸線した微細パーライトを主とする、ピアノ線及びそれよりも温間耐へたり性にすぐれたばね用低合金鋼線及び類似の鋼線から作られた、その円形断面線の線径又は異形断面線の平均径又は厚さが1.5 mm以上のばねで、ばね成形後、残留応力除去のための低温焼鈍を施し、引継ぎ0.2～0.9 mm径の硬質金属粒子投射後さらに全粒子の平均径が65 μm以下、かつ、個々の粒子がそれぞれ平均径10～80 μmで角張りのない球形またはそれに近

い形状を有し、比重7.0～9.0、硬さHv350以上1100以下である多数の微細金属粒子を速度50～160m/secで投射し、ごく表層の加工硬化を起こすが回復・再結晶を起こすよりは低温に制御することによって表層の鉄地のX線圧縮残留応力を550MPa以上として、次の疲労限度以上の特性を有するばね。

繰返し応力 $\tau_m \pm \tau_a$ 、繰返し数： 5×10^7 として、

$$\tau_m = 690 - x \text{ の時、 } \tau_a \geq 422 + x/5 \dots\dots\dots (3)$$

ここで、単位：MPa，x：0～140

12. 通常のJIS規格弁ばね用オイルテンバー線SWOSC-Vを用いて、ばね成形後残留応力除去のための低温焼鈍を施し、引続き0.2から0.9mm径の硬質金属粒子を投射し、さらにその後の工程で、全粒子の平均径が65μm以下、かつ、個々の粒子がそれぞれ平均径10～80μmで角張りのない球形又は球に近い形状を有し、比重7.0～9.0、硬さHv500以上1100以下の多数の微細金属粒子を速度50～160m/secで投射し、ごく表層部の加工硬化を起こすが回復・再結晶を起こす温度より低温に制御することによって、そのごく表層のX線圧縮残留応力を900MPa以上、表面から深さ0.2～0.5mmにおける硬さがHv520～600で、非金属介在物寸法が15μm以下として、次の疲労限度以上の特性を有するばね。

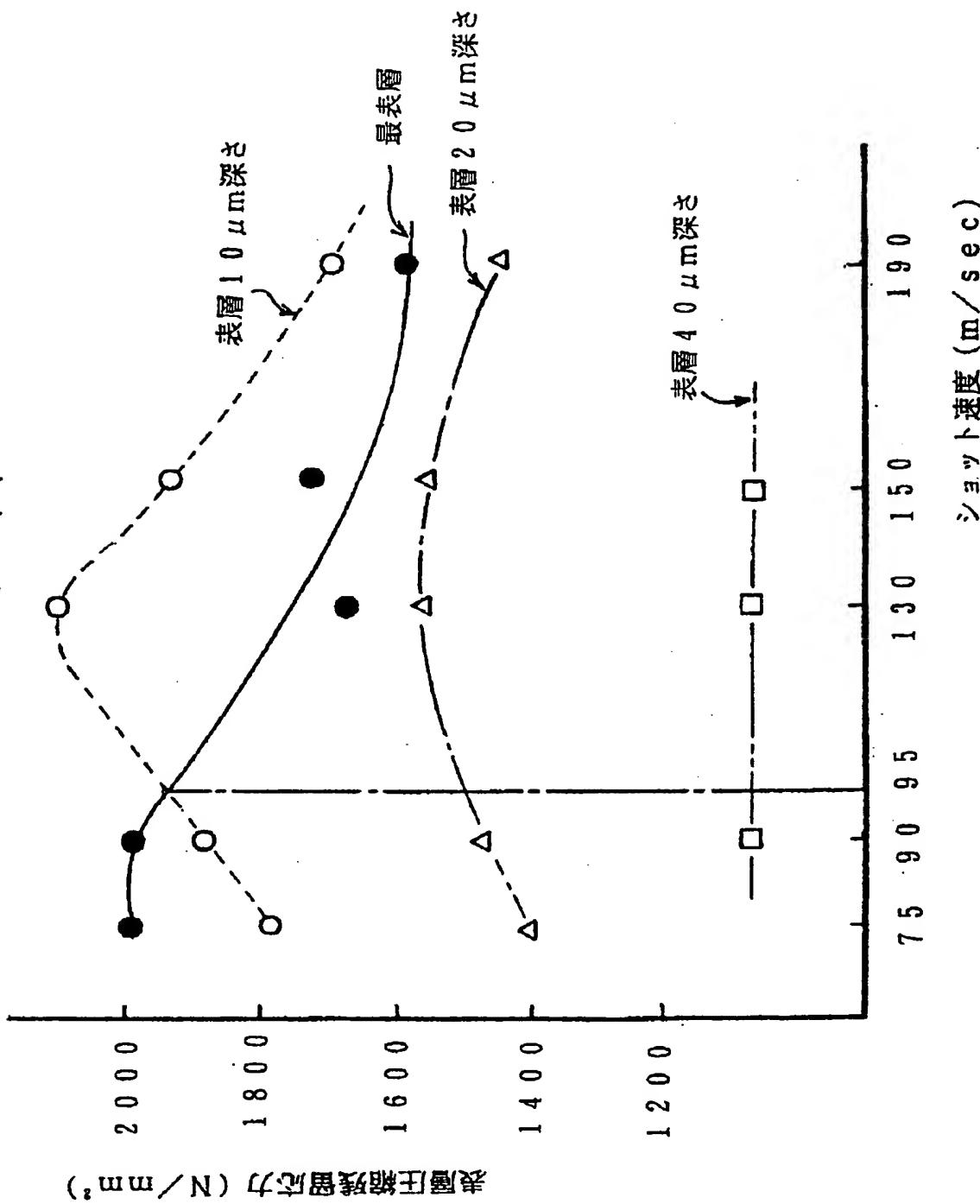
繰返し応力 $\tau_m \pm \tau_a$ 、繰返し数： 5×10^7 として、

$$\tau_m = 690 - x \text{ の時、 } \tau_a \geq 440 + x/5 \dots\dots\dots (4)$$

ここで、単位：MPa、x：0～208

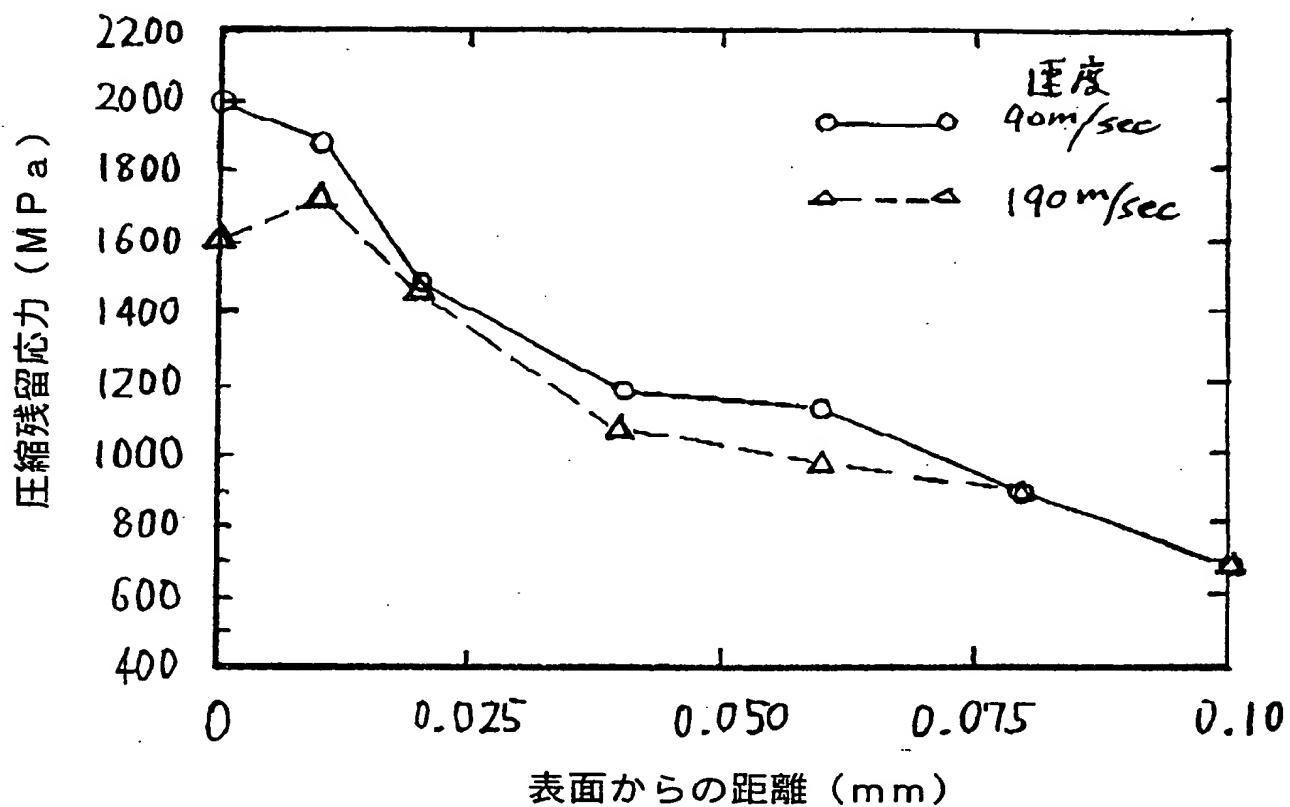
13. 表層硬さHv400～750の薄板ばね、又は線ばねに対して、個々の粒子の硬さHv350から1100、平均径10から80μmで角張りのない球形またはそれに近い形状を有する、比重7.0～9.0、全粒子の中の最大粒子平均径と全粒子平均径がそれぞれ80μm以下と65μm以下、望ましくはそれらがそれぞれ75μm以下と50μm以下であることを特徴とする金属粒子を衝突速度50～160m/secで、かつ、加工硬化を起こすが、回復再結晶を起こさないように制御して投射することによって得られる、疲労強度の優れたばね。

第1図



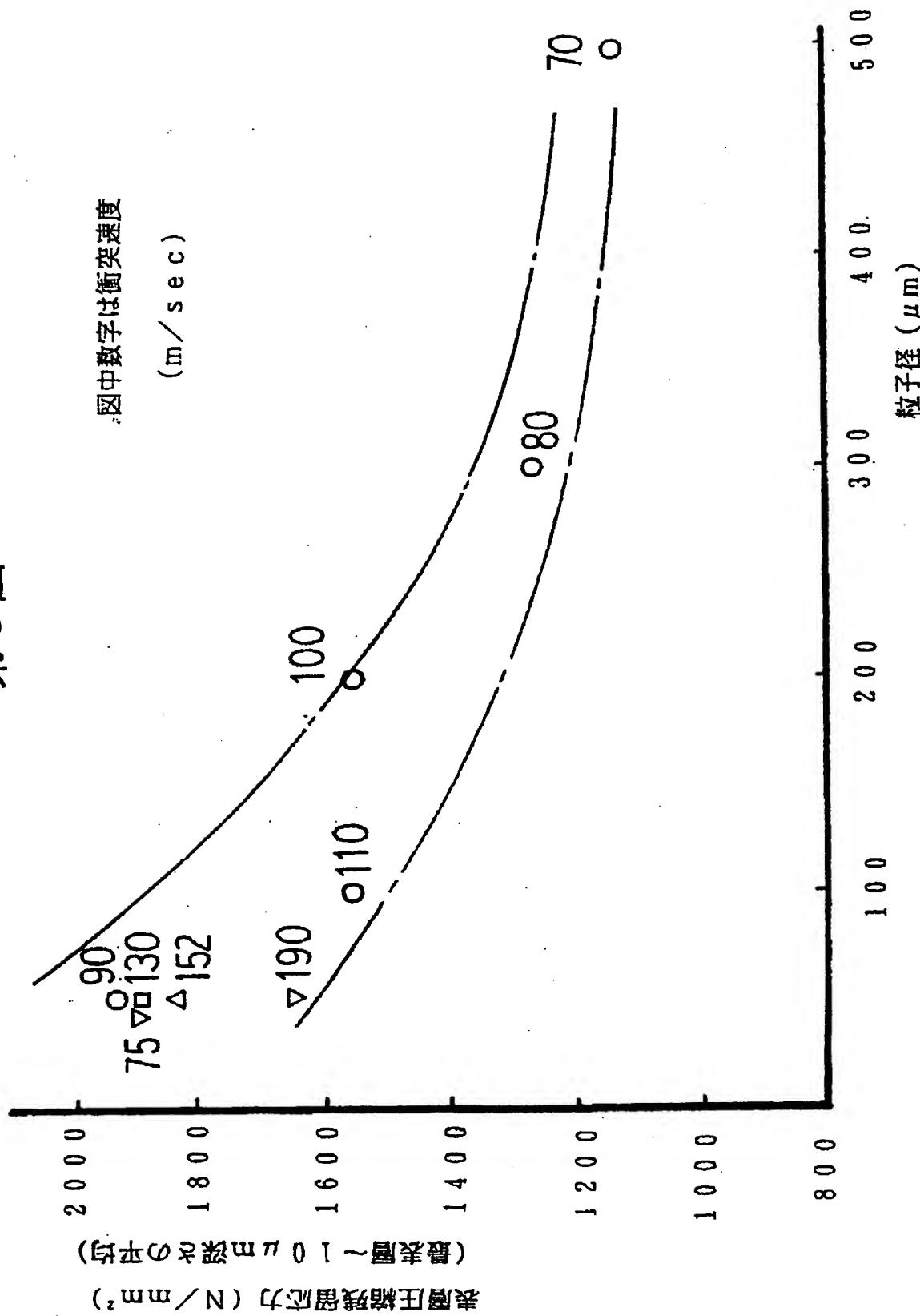
THIS PAGE BLANK (USPTO)

第2図



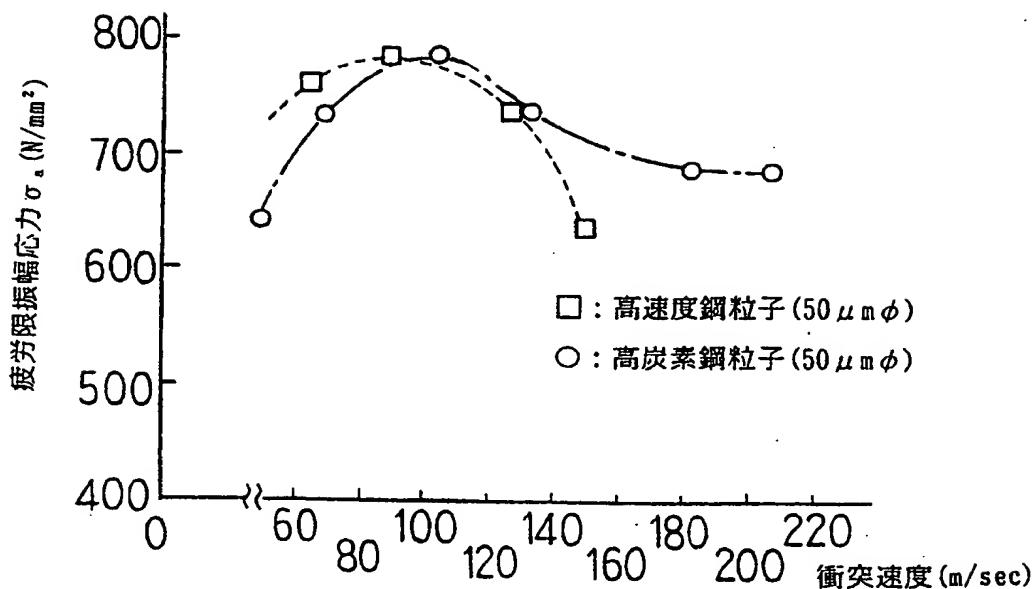
THIS PAGE BLANK (USPTO)

第3図

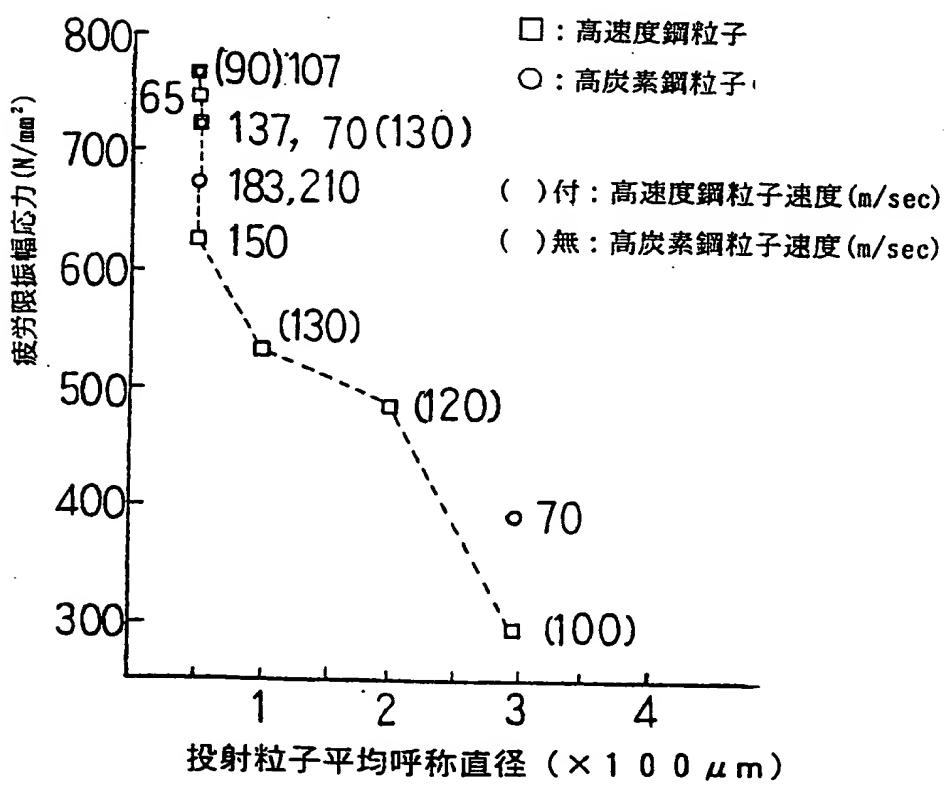


THIS PAGE BLANK (USPTO)

第4図



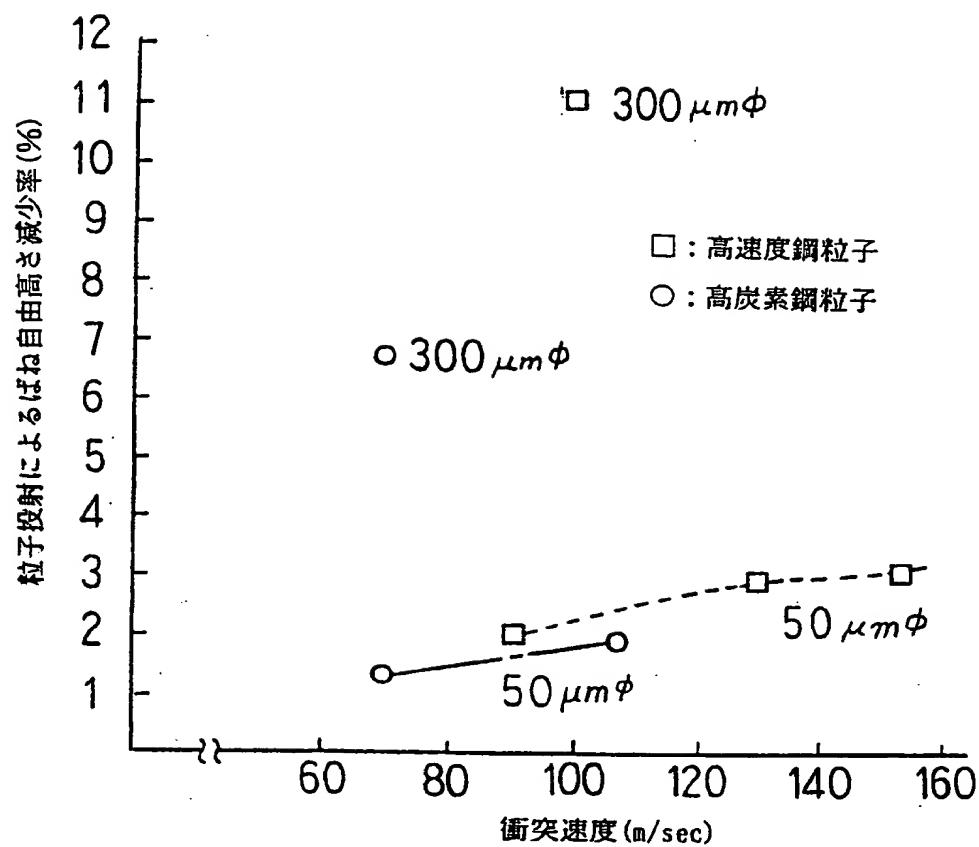
第5図



THIS PAGE BLANK (USPTO)

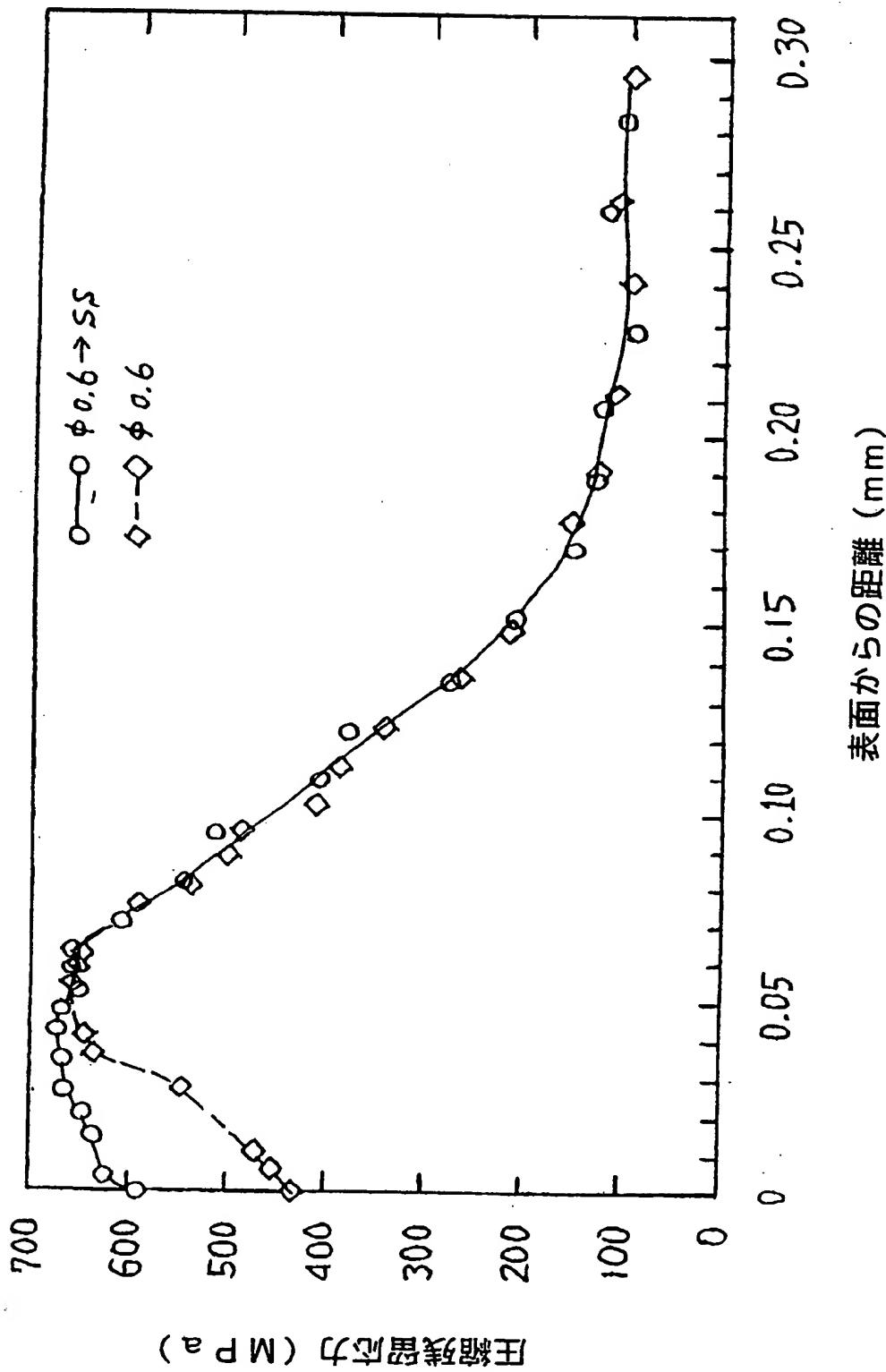
5 / 6

第6図



THIS PAGE BLANK (USPTO)

第7図



THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/04539-

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IntCl⁶ C21D7/06 B24C1/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IntCl⁶ C21D7/06 B24C1/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP9-279229,A (Suncall Corporation), 28 October, 1997(28,10,97), Claims ; & KR,97-69245,A & US,5816088,A	1-13
A	JP5-339628,A (Yamaha Motor Co., Ltd.), 21 December, 1993(21,12,93), Claims (Family: none)	1-13
A	JP9-57629,A(TOSHIBA TUNGALOY CO., LTD.), 4 March, 1997(04,03,97), Claims (Family: none)	1-13
A	JP5-140726,A(Nippon Steel Corporation), 8 June, 1993(08,06,93) , Claims (Family: none)	1-13

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 December, 1999 (07.12.99)

Date of mailing of the international search report
21 December, 1999 (21.12.99)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP99/04539

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int C16 C21D7/06 B24C1/10

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int C16 C21D7/06 B24C1/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-1999年
日本国登録実用新案公報 1994-1999年
日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP9-279229, A (サンコール株式会社), 28, 10月, 1997 (28, 10, 97)、特許請求の範囲, &KR97-69245, A&US5816088, A	1-13
A	JP5-339628, A (ヤマハ発動機株式会社), 21, 12月, 1993 (21, 12, 93) 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-13
A	JP9-57629, A (東芝タンガロイ株式会社), 4, 3月, 1997 (04, 03, 97) 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-13
A	JP5-140726, A (新日本製鐵株式会社), 8, 6月, 1993 (08, 06, 93) 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	1-13

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.12.99

国際調査報告の発送日

21.12.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

小川 武

4K 9270

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

THIS PAGE BLANK (USPTO)